

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

**PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS
UTILIZANDO LOS EQUIPOS DE METALURGIA DE
LA FIME**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO**

JORGE DAVID PAREDES VALENCIA

**DIRECTOR: ING. VICTOR ANDRADE
CODIRECTOR: ING. WILSON GARZON**

SANGOLQUÍ, MAYO 2007

CERTIFICACION DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto **PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS UTILIZANDO LOS EQUIPOS DE METALURGIA DE LA FIME** fue realizado en su totalidad por **Jorge David Paredes Valencia**, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Victor Andrade
DIRECTOR

Ing. Wilson Garzón
CODIRECTOR

Sangolqui, Mayo 2007

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS UTILIZANDO LOS EQUIPOS DE METALURGIA DE LA FIME

ELABORADO POR:

David Paredes V.

CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

DIRECTOR DE CARRERA

Sangolquí, Mayo 2007

DEDICATORIA

En este momento que he alcanzado una de mis metas, quisiera dedicar este título primeramente a Dios y luego a mis padres por guiarme siempre por el camino correcto y brindarme su apoyo en los momentos difíciles de mi vida, ya que gracias a ello, puedo decir que he llegado a la culminación de mi carrera universitaria.

David Paredes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y a toda mi familia por que gracias al amor, al ejemplo y la constancia que ellos me han enseñado.

A la universidad por haberme acogido en su seno durante toda mi formación profesional.

David Paredes

INDICE

CAPITULO 1

GENERALIDADES

Pagina

1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación e Importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4

CAPITULO 2

PROCESO DE GALVANIZACION

2.1. Descripción general del proceso.....	5
2.2. Determinación de las variables del proceso.....	39
2.3. Materiales para el recubrimiento.....	56
2.4. Análisis y estudio de los polímeros.....	68

CAPITULO 3

PRUEBAS Y EVALUCION DE RESULTADOS

3.1. Plan de pruebas.....	96
3.1.1. Pruebas de tiempo del proceso.....	96
3.1.2. Pruebas de espesores de recubrimiento del proceso.....	97
3.1.3. Pruebas de acabado superficial.....	100
3.1.3.1. Ensayo de proyección de sal.....	100

3.1.3.2. Ensayo de exposición a la interperie.....	101
3.1.3.3. Prueba de brillo.....	103
3.2. Análisis de resultados.....	104
3.2.1. Cualitativo.....	104
3.2.2. Cuantitativo.....	107

CAPITULO 4

MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y APLICACIONES DEL PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS

4.1. Guía de procedimiento para realizar una practica de laboratorio del proceso de galvanización en polímeros.....	108
4.2. Tiempos de aplicación de acuerdo a formas y dimensiones.....	144
4.3. Recomendaciones y normas de seguridad industriales para el proceso de galvanización en polímeros.....	144
4.3.1. Enfermedades, síntomas y tratamientos.....	145
4.3.2. Formas de prevencion.....	158

CAPITULO 5

ANÁLISIS ECONOMICO, FINANCIERO E IMPACTO AMBIENTAL

5.1. Económico.....	163
5.1.1. Costos de materiales.....	164
5.1.2. Costos de Mano de Obra.....	167
5.1.3. Costos de equipamiento.....	175
5.1.4. Costo total.....	175
5.2. Financiero.....	176
5.2.1. Objetivos del análisis financiero.....	177
5.2.2. Descripción de los elementos de evaluación.....	177
5.2.3. Descripción del análisis.....	179
5.3. Ambiental.....	179
5.3.1. Objetivo.....	183
5.3.1.1. Definiciones.....	184
5.3.2. Daños para el medio ambiente y la salud humana.....	188
5.3.3. Efectos ambientales de las aguas residuales.....	200
5.3.4. Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.....	202
5.3.5. Sistemas de reciclado de las aguas residuales.....	204
5.3.6. Recomendaciones para las Industrias.....	206

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	208
6.2. Recomendaciones.....	209

INDICE DE TABLAS

2.1. Especificaciones técnicas del baño de cobre.....	18
2.2. Especificaciones técnicas del baño de alto en cobre.....	21
2.3. Especificaciones técnicas del baño bajo en cobre.....	21
2.4. Especificaciones técnicas de baños cianurados.....	23
2.5. Especificaciones técnicas del baño de níquel para trabajar en frío.....	24
2.6. Especificaciones técnicas del baño de níquel en caliente.....	24
2.7. Especificaciones técnicas del baño de níquel sobre cinc.....	25
2.8. Especificaciones técnicas del baño de níquel brillante.....	25
2.9. Especificaciones técnicas del baño de níquel organico brillante.....	26
2.10. Especificaciones técnicas del baño de cromo.....	33
3.1. Duración del ensayo de sal.....	101
3.2. Ensayo de exposición a la interperie.....	102
3.3. Condiciones climáticas para ensayos a la interperie.....	102
3.4. Grado de brillo.....	104
4.1. Propiedades generales del ácido sulfúrico.....	147
4.2. Propiedades generales del hierro.....	150
4.3. Propiedades generales del plomo.....	153
4.4. Propiedades generales del cromo.....	156
5.1. Densidades y espesores típicos para los diferentes procesos galvanotécnicos.....	166

5.2.	Valores de I, E e Y para diferentes recubrimiento.....	169-170
5.3.	Tamaños máximos y mínimos para diferentes baños.....	171
5.4.	Tiempos promedios de mano de obra.....	173
5.5.	Ingresos estimados.....	179

INDICE DE CUADROS

4.1.	Problemas, Causas, Soluciones del baño de cobre.....	131
4.2.	Problemas, Causas, Soluciones del baño de nique.....	137-138
4.3.	Problemas, Causas, Soluciones del baño de cromo.....	142-143-144
5.1.	Carga contaminante de una planta de cromado brillante.....	192
5.2.	Residuos de las empresas galvanotécnicas.....	196-197

INDICE DE FIGURAS

2.1.	Agitador mecánico de la pieza.....	41
2.2.	Curvas de rectificación de C. A.....	52
2.3.	Cuba en serie y paralelo.....	53
2.4.	Instrumentos de medida.....	54
2.5.	Estructura de los polímeros.....	59
3.1.	Velocidad de disolución vs. Temperatura.....	99
4.1.	Vista al microscopio electrónico de un ABS.....	115
4.2.	Superficie del ABS tras el Asperizado.....	116
4.3.	Relación entre la adherencia de la capa metálica y la temperatura de la masa.....	118
4.4.	Influencia de la temperatura del plástico y la velocidad de Inyección sobre la adherencia de la capa metálica.....	119
4.5.	Relación entre la adherencia de la capa metálica y la temperatura del molde.....	120
4.5.	Relación entre la adherencia de la capa metálica y la presión de inyección.....	121
4.7.	Abrazadera.....	122
4.8.	Ubicación de Anodos.....	123
4.9.	Conexiones 1.....	123
4.10.	Conexiones 2.....	124
4.11.	Sujeción de pieza 1.....	124

4.12.	Sujeción de pieza 2.....	125
4.13.	Forma de sumergir los objetos.....	126
5.1.	Flujo de Aguas Residuales.....	190

INDICE DE FORMULAS

2.1.	Resistencia / Esfuerzo.....	83
2.2.	Elongación.....	85
3.1.	Espesor de recubrimiento.....	99
5.1.	Precio del Material.....	167
5.2.	Tiempo del Proceso de Galvanización.....	168
5.3.	Tiempo del Proceso de Metalización.....	169
5.4.	Tiempo Total.....	173
5.5.	Tiempo Apropriado.....	174
5.6.	Costos de equipamiento.....	175
5.7.	Costo Total.....	175
5.8.	Periodo de Recuperación de Inversión (PRI).....	178
5.9.	Relación Beneficio/Costo (RB/C).....	178

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Otros tipos de Metalizado
ANEXO B	Area de galvanotecnia del laboratorio
ANEXO C	Normas utilizadas para las pruebas
ANEXO D recubrimientos	Programa para cálculos de costos y tiempos de
ANEXO E	Fotografías Varias
ANEXO F	Manual de Funcionamiento
ANEXO G	Carta de satisfacción
ANEXO H	Legalización del Proyecto

RESUMEN

GALVANOTECNIA

El termino galvanotecnia significa el recubrir un objeto, generalmente un metal, con una delgada capa de otro metal mediante el uso de la electricidad. Los metales más usados son oro, plata, cromo, cobre, níquel y zinc aunque existen otros recubrimientos no tan usados como los de cadmio, presentes en ciertos componentes electrónicos, y los de Wolframio para el recubrimiento de algunas partes metálicas que se encuentren expuestas a ácidos . Generalmente se recubre un metal con otro diferente pero no siempre es así, ya que existen recubrimientos sobre el mismo metal y también de materiales no metálicos sobre metales o viceversa.

Las razones por las que se aplican procesos galvanotecnico a un objeto son:

Para mejorar su apariencia: Los procesos galvanotecnico en general mejoran el brillo de la pieza tratada y disminuyen su rugosidad, ya que el metal recubridor se introduce en todas aquellas grietas y otras fallas que posea el objeto a recubrir.

Para evitar o disminuir las probabilidades de corrosión: Ya que los principales metales usados en los procesos galvanotecnico son resistentes a la corrosión, esta no puede llegar a las piezas recubiertas, por tanto si bien no se elimina completamente las posibilidades de corrosión, si se disminuye considerablemente.

Para aumentar la dureza y resistencia: Procesos como el cromado y los recubrimientos con wolframio proveen al objeto revestido las características mejores respecto a las que este poseía originalmente. Es por esto que ciertas partes de un torno como son los puntos para centrar la pieza, son tratadas por medio del cromo duro, para mejorar su resistencia.

POLIMEROS

La [materia](#) esta formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como [redes](#) tridimensionales

COPOLIMERO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en [aleaciones](#) con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un [plástico](#) de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores. Sus cualidades son una baja [temperatura](#) de ablandamiento, baja resistencia ambiental y baja resistencia a los agentes químicos

METALIZADO QUÍMICO

Para poder galvanizar los plásticos es preciso crear un contacto eléctrico con el baño galvánico. Ello solamente es posible mediante una superficie metálica sobre el no conductor. La película metálica puede aplicarse sin corriente a partir de una solución de sales metálicas. Por ello, el empleo industrial de plásticos galvanizados ha impulsado mucho el desarrollo de la metalización sin corriente. Entre los procedimientos químicos (sin corriente) se distinguen tres para la separación de metales:

PROCESO DE METALIZACION PARA ABS

1. MORDENTADO

Tiempo 15 minutos
Temperatura 60-65°C

2. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

3. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

4. SOLUCION ACTIVADORA

Tiempo 10 minutos
Temperatura Ambiente
Requiere Agitación

5. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

6. BAÑO DE PLATA

Tiempo 2 minutos
Temperatura Ambiente
Requiere Agitación

7. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

8. COBRE ELECTROLESS

Tiempo 15 minutos
Temperatura Ambiente
Requiere agitación esporádica

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES DE METALIZACION PARA ABS

MORDENTADO

Acido Sulfúrico 380 gr/lt
Acido Crómico 380 gr/lt

SOLUCION ACTIVADORA

Sales Activadoras 1.5 gr/lt

BAÑO DE PLATA

Nitrato de Plata 2 gr/lt
Sosa 7.5 gr/lt
Amoniacó 2.5 ml/lt

COBRE ELECTROLESS

Cu.El. Parte A 150 ml/lt

Medidas Preventivas

- (1) Usar zapatos o botas con suelas antideslizantes, y/o con punta de acero.**

- (2) Revisar el equipo electrico antes de usar. Llevar el equipo electrico defectuoso o sospechoso de serlo a donde un técnico electricista calificado para su prueba y reparación.**

- (3) Usar equipo de protección y vestimenta resistente a los químicos para evitar la exposición de la piel u ojos a solidos, liquidos, gaes o vapores corrosivos.**

- (4) Obedecer todas las instrucciones que tengan que ver con el almacenamiento, transporte, manipulación y vertido seguro de los diversos productos químicos, o el desecho de los baños que ya no srivan; NO mezcle productos químicos sin la supervicion de un químico calificado o un profesional en la seguridad industrial.**

- (5) Usar gafas de protección siempre que los ojos posiblemente vayan a estar expuestos al polvo, particulas suspendidas, o a salpicaduras de liquidos peligrosos.**

- (6) Usar respiradores cuando se vaya a estar expuesto a aerosoles, polvos, gases o vapores peligrosos.**

- (7) Tomas extremas precauciones cuando se vaya a manipular agentes altamente corrosivos como el acido hidrofluorico, el acido cromico (trioxido de cromo) acido nitrico concentrado, etc; de ser posible usar substitutos mas seguros.**

- (8) Si se ha diagnosticado una sensibilidad al latex, no usar este tipo de guantes.**

GLOSARIO

Galvanotecnia.- Proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base cualquiera.

Galvanoplastia.- Proceso que se ocupa de la producción y reproducción de objetos por medio de la electrólisis.

Galvanostegia.- Se ocupa del estudio de la formación de capas metálicas delgadas sobre objetos metálicos.

Anodo.- Polo positivo de un generador eléctrico. En la electrólisis, electrodo positivo al que emigran los aniones.

Catodo.- Electrodo negativo de un circuito o generador eléctrico.

Caustica.- Superficie envolvente de los rayos que emergen de un sistema óptico.

Gramófono.- Instrumento que reproduce las vibraciones de la voz humana o de cualquier otro sonido.

Fonógrafos.- Instrumento que inscribe sobre un cilindro las vibraciones de cualquier sonido y las reproduce.

Decapado.- Quitar por métodos físico-químicos la capa de óxidos.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

La galvanotecnia es un proceso electroquímico por el cual se deposita una capa fina de metal sobre una base generalmente metálica. Los objetos se galvanizan para evitar la corrosión, para obtener una superficie dura o un acabado atractivo, para purificar metales, para separar metales para el análisis cuantitativo o como en el caso de la electrotipia, para reproducir un molde. Los metales que se utilizan normalmente en galvanotecnia son: cadmio, cromo, cobre, oro, níquel, plata y estaño. Los accesorios cromados de automóviles y los recipientes de comida estañados son ejemplos y productos típicos de galvanotecnia.

En este proceso, el objeto que va a ser recubierto se coloca en una disolución (baño) de una sal del metal recubridor, y se conecta a un terminal negativo de una fuente de electricidad externa. Otro conductor, compuesto a menudo por el metal recubridor, se conecta al terminal positivo de la fuente de electricidad.

Esos átomos son sustituidos en el baño por los del ánodo (electrodo positivo) si esta compuesto por el mismo metal, como es el caso del cobre y la plata. Si no es así, se sustituyen añadiendo el baño periódicamente la sal correspondiente, como ocurre con el oro y el cromo. En cualquier caso, se mantiene un equilibrio entre el metal que sale y el metal que entra en la disolución hasta que el objeto esta galvanizado. Los materiales no conductores pueden ser galvanizados si se cubren antes con un material conductor como el grafito. La cera o los diseños de plástico para la electrotipia, y las matrices de los discos fonográficos se recubren de esta manera.

Para asegurar una cohesión estrecha entre el objeto a ser recubierto y el material recubridor, hay que limpiar el objeto a fondo, ya sea sumergiéndolo en una disolución ácida o cáustica, o bien utilizándolo como ánodo en un baño limpiador durante un instante. Para eliminar irregularidades en las depresiones de la placa y asegurar que la textura de la superficie es de buena calidad y propicia para el refinado, hay que controlar cuidadosamente la densidad de la intensidad de corriente (amperios por metro cuadrado de superficie de cátodo) y la temperatura. Con frecuencia se añaden al baño ciertos coloides o compuestos especiales para mejorar la uniformidad de la superficie de la placa.

1.2 ANTECEDENTES

El laboratorio de Metalurgia de La Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE buscando siempre el mejoramiento continuo del mismo y a través de este, buscando el excelente desempeño del futuro Ingeniero Mecánico plantea una necesidad insatisfecha la cual es la siguiente: PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS UTILIZANDO LOS EQUIPOS DE METALURGIA DE LA ESPE.

Es importante que el Ingeniero Mecánico graduado en la ESPE tenga conocimientos, de este tema importante de la metalurgia ya que en la actualidad se tiende a galvanizar un sin número de piezas en todos los tamaños y formas diferentes, no solo para protegerlas de la corrosión sino también para mejorar la presentación y acabado de estas.

Además existen pequeñas y medianas empresas que se dedican a dar servicio de galvanizado pero solo en metales, lo que estoy planteando es una nueva alternativa de conocer y poner en práctica y a conocimiento del público el proceso de galvanización en polímeros, para que no realicen estos procesos con

conocimientos empíricos, ya que al no seguir un proceso ordenado y controlado no se puede garantizar un producto de calidad para el cliente.

Por todo esto he visto la necesidad de crear un manual claro y conciso que permita al alumno de la Facultad y a cualquier artesano que se dedique a esta rama de la Metalurgia, que comprenda que es lo que esta haciendo y como mejorarlo.

1.3 JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

Este proyecto es muy útil ya que muchas personas no tienen conocimiento de que el proceso de galvanización es aplicable también para los polímeros, pero con los resultados, conclusiones y recomendaciones que surgan de la presente investigación, vamos a tener una visión mucho más clara de este proceso.

Ya que el proceso de galvanización ocupa un lugar importante dentro de la industria manufacturera del país, es necesario que tanto los estudiantes de Ingeniería Mecánica como las personas que se dedican a esta rama tengan los conocimientos necesarios que les permitan conocer este proceso aplicado a polímeros y conocer las variables que interactúan en el mismo.

En lo que se refiere a los estudiantes, es necesario que cuenten con esta información ya que les servirá para tener una formación profesional más completa, así como una visión más amplia de los campos en los que el Ingeniero Mecánico puede aplicar sus conocimientos.

Para los artesanos e industriales por su parte necesitan de una guía que les permita sistematizar sus procesos para obtener una producción más eficiente y segura, un documento que les ayude a comprender las variables que intervienen en este proceso, los posibles riesgos y soluciones a los problemas más comunes que se les pueda presentar.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Hacer el proceso de galvanización en polímeros utilizando los equipos de metalurgia de la FIME

1.4.2 ESPECIFICOS

- Conocer plenamente el proceso de galvanización en polímeros, así como también las reacciones químicas que se producen en estos y aplicar estos conocimientos
- Obtener resultados de acuerdo a las normas INEN
- Elaborar un manual de procedimiento para la galvanización de polímeros, dirigido a los alumnos de la FIME
- Generar un análisis económico, financiero e impacto ambiental del proceso de galvanización en polímeros.

CAPITULO 2

PROCESO DE GALVANIZACIÓN

2.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO

El termino galvanotecnia significa el recubrir un objeto, generalmente un metal, con una delgada capa de otro metal mediante el uso de la electricidad. Los metales más usados son oro, plata, cromo, cobre, níquel y zinc aunque existen otros recubrimientos no tan usados como los de cadmio, presentes en ciertos componentes electrónicos, y los de Wolframio para el recubrimiento de algunas partes metálicas que se encuentren expuestas a ácidos . Generalmente se recubre un metal con otro diferente pero no siempre es así, ya que existen recubrimientos sobre el mismo metal y también de materiales no metálicos sobre metales o viceversa.

Las razones por las que se aplican procesos galvanotecnicos a un objeto son:

Para mejorar su apariencia: Los procesos galvanotecnicos en general mejoran el brillo de la pieza tratada y disminuyen su rugosidad, ya que el metal recubridor se introduce en todas aquellas grietas y otras fallas que posea el objeto a recubrir.

Para evitar o disminuir las probabilidades de corrosión: Ya que los principales metales usados en los procesos galvanotecnicos son resistentes a la corrosión, esta no puede llegar a las piezas recubiertas, por tanto si bien no se elimina completamente las posibilidades de corrosión, si se disminuye considerablemente.

Para aumentar la dureza y resistencia: Procesos como el cromado y los recubrimientos con wolframio proveen al objeto revestido las características mejores respecto a las que este poseía originalmente. Es por esto que ciertas partes de un torno como son los puntos para centrar la pieza, son tratadas por medio del cromo duro, para mejorar su resistencia.

La galvanotecnia se divide en dos partes:

La Galvanostegia, y

La Galvanoplastia

GALVANOSTEGIA

La Galvanostegia se ocupa del estudio de la formación de capas metálicas delgadas sobre objetos metálicos, realizado, a veces con fines decorativos y otras para proporcionar al metal base de mayor resistencia a la corrosión. La galvanostegia industrial trata del recubrimiento de metales baratos, con los que el objeto puede ser fabricado económicamente, mediante finas capas de otro metal que al mismo tiempo que mejora su aspecto, también aumenta sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión.

Mediante ciertos procesos químicos o electroquímicos se puede dar al objeto recubierto cierto aspecto agradable al provocar coloraciones diversas.

En este proceso no solo se busca recubrir uniformemente los objetos, sino que además, es preciso obtener depósitos lisos, duros o dúctiles, dependiendo del uso que se les vaya a dar a estos. El éxito en la preparación de tales depósitos depende, en gran parte, de la aplicación adecuada de los factores electroquímicos correspondientes (temperatura, amperaje,). Es fácil el predecir los cambios que ocurrirán en un proceso galvanostegico cualquiera si se varia uno solo de los anteriores factores; lo difícil es saber que ocurriría si se varían simultáneamente dos o mas de estos.

A pesar que no se conoce exactamente el proceso por el cual un ión metálico es descargado en el cátodo transformándose en átomo neutro, podemos describir un esquema elemental del mismo de acuerdo con las teorías sencillas aceptadas

Ya que al cátodo esta cargado negativamente, siempre que tenga la oportunidad de neutralizar sus cargas con un ión positivo, se originara un átomo neutro. Los

átomos, una vez descargados, han de situarse en la red para originar el cristal correspondiente (cubos o hexágonos), pero esto puede ocurrir de dos formas distintas:

- Cuando los átomos se descargan al azar y posteriormente se colocan en el lugar que les corresponda.
- Cuando los átomos se descargan en el mismo lugar donde han de quedar definitivamente.

Sea cual sea la forma en que estos se ubiquen en el metal base, lo cierto es que los metales al separarse catódicamente se cristalizan en la forma geométrica característica del metal que se trate.

Los depósitos electrolíticos de los metales son de naturaleza cristalina, cada uno de los granos cristalinos están a su vez formados por un gran numero de células elementales que poseen ya todas las cualidades del cristal microscópico.

Las propiedades de estos depósitos metálicos dependen en gran manera del tamaño y disposición de los cristales; la estructura de aquellos dependerá de:

- **El número de núcleos de cristalización:** Todos aquellos factores que favorezcan un aumento del numero de núcleos de cristalización originaran depósitos mas finos.
- **El sentido de crecimiento de los cristales:** Todos aquellos factores que aceleran el sentido de crecimiento de los cristales en una misma dirección, producirán depósitos bastos y mates.

GALVANOPLASTIA

Historia

Los trabajos sobre electroquímica llevados a cabo por el químico inglés Humphry Davy, hacia 1800, y por Michael Faraday hacia 1830, condujeron a la galvanoplastia o empleo de la electricidad para recubrir un metal con otro. Werner von Siemens, oficial artillero prusiano y pionero de la industria eléctrica, desarrollo uno de los primeros procesos de galvanoplastia en 1842; unos cuchilleros de Birmingham, los Elkington, lo adquirieron en 1843. Hacia 1860 se empleaba plata y otros metales nobles para recubrir aleaciones mas baratas; en 1869, comenzaron los baños de níquel. El baño de cromo se introdujo a mediados de los años veinte.

Generalidades

La galvanoplastia se ocupa de la producción y reproducción de objetos por medio de la electrolisis. Se usa en la preparación de galvanos y en la reproducción de grabados para imprimir; antes del auge del disco de acetato y del CD, se empleaba mucho para la obtención de matrices para la fabricación de placas de fonógrafos. Se basa en la obtención electrolítica de capas de metal sobre el cuerpo cuya forma se desea reproducir; pero este puede ser de naturaleza metálica o no, de no serlo se debe hacer a la superficie conductora.

Algunas veces se recubren de modo permanente objetos no metálicos, fabricados con materiales plásticos mediante capas finas de metales depositados electrolíticamente.

Preparación de negativos

Para la producción o reproducción de objetos por electrolisis, es forzoso preparar primero un negativo del objeto a reproducir, para depositar sobre este el metal deseado. En primer lugar será preciso preparar un molde del cuerpo a reproducir; si el molde no es metálico será preciso hacer su superficie conductora.

Estos moldes pueden prepararse por vaciado y por electrolisis.

Moldes por vaciado: Para estos es necesario emplear aleaciones de punto de fusión bajo, tales como el metal Wood (Bi 50%, Pb 25%, y Sn + Cd el restante) y otras a base de bismuto-plomo o de bismuto-estaño. Estas aleaciones pueden utilizarse en el vaciado de positivos metálicos, de material plástico, de madera, etc., y una vez depositada electrolíticamente la capa metálica que ha de actuar de positivo, la aleación puede separarse por fusión.

Moldes por electrolisis: Este tipo de moldes son aconsejables cuando se desea una reproducción perfecta del objeto y se desea una producción en serie del mismo, ya que el negativo electrolítico puede usarse repetidamente.

Los negativos electrolíticos reproducen los mas fines detalles que pueden apreciarse con un microscopio; por esto se los usa para la reproducción de grabados de imprenta y antiguamente para las matrices de gramófono.

La fabricación de matrices necesita disponer del original, grabado en material plástico o cera y la superficie de este se hace luego conductora por algunos de los métodos citados a continuación, y sobre esta superficie conductora se deposita una capa fina de cobre. Sobre esta capa, por el lado positivo, se depositan una serie de matrices que han de servir luego para separar sobre ellas los metales que han de dar lugar a las placas de estampación. Uno de estos últimos metales suelen ser el níquel, el que se lo refuerza con una fina capa de cromo que aumenta su resistencia al desgaste superficial. De este modo puede engendrarse toda una generación de placas positivas totalmente iguales entre si.

Preparación de las superficies metálicas

Cuando se trabaja con negativos metálicos cuya superficie es conductora, es preciso separar estas para que las capas del depósito puedan luego separarse, una vez formado el positivo.

Para esto pueden seguirse varios métodos; en los métodos mecánicos se interpone una capa delgada de grasa o cera disuelta en algún disolvente adecuado o, también, recubriendo ligeramente la superficie con polvos de grafito fino. Los métodos químicos forman capas conductoras por ser muy delgadas, como les ocurre a los óxidos de Cr y Ni formados espontáneamente. Para oxidar la superficie del hierro industrialmente se le somete a un pasivado anódico, utilizando como electrolito una disolución de NaOH.

Si el metal puede dar como resultado un sulfuro estable (Ag, Pb, Cu, Bi, Fe, Ni) se le puede tratar con una solución de algún sulfuro soluble, para formar una capa finísima del sulfuro correspondiente. Igualmente pueden formarse capas de otras sales, tratando los metales con alguna sal alcalina; por ejemplo, el cromato de plata o mediante Dicromato de Sodio.

En el caso de que no se pueda formar estas capas sobre el propio metal es factible depositar sobre su superficie un compuesto químico conductor, por ejemplo sobre las placas de cobre en los negativos de las matrices para fonógrafos y las placas para planos.

Para esto basta humedecer la superficie con una solución de cianuro de plata (AgCN 37 gr/l: AgCl 40 gr/l: NaCN 90gr/l)

Y luego se le trata con otra solución de tintura de yodo diluida; de esta forma se origina una película fina conductora que permite depositar y luego separar el depósito formado electrolíticamente.

Preparación de las superficies no metálicas

Si se trata de cuerpos no metálicos, por ejemplo, vidrio, porcelana, madera, cera o plástico, es forzoso hacer primero conductora la superficie. Si el cuerpo es poroso se cubrirá este previamente con una capa de cera o parafina, cuidando de que se expulse el aire contenido en los poros. Otras veces se utiliza con el mismo fin varias capas de laca adecuada o barniz.

Sobre la cera o barniz se aplica polvo de grafito o cobre, para hacer la superficie conductora; el polvo de grafito es mas económico que el de cobre. Se aplican con un pincel fino y de una manera uniforme sobre la superficie del molde.

Industrialmente se hace conductora la superficie de los cuerpos no metálicos, formando sobre estos una fina película de plata, siguiendo un método análogo al usado en el plateado de espejos. La solución de sal de plata empleada, se mezcla en el momento que se ha de utilizar, con la cantidad justa de otra solución reductora. El nitrato de plata (AgNO_3) tiene una concentración de (5 al 10%) y se prepara precipitando con un hidróxido alcalino y redisolviendo este precipitado con la cantidad justa de amoniaco. Se acostumbra a preparar otra solución de NO_3Ag al 6%, para añadir a la solución amoniacal final cierta cantidad y dejarla con ligero oscurecimiento.

Como agentes reductores pueden usarse soluciones de sacarosa (10% + 2cc de NO_3H), Tártraro sodopotásico (2%) o formol (solución al 40%).

La solución de plata y el reductor se mezclan en el momento de ser utilizadas y se añade sobre la superficie que ha de platearse; la realización practica de este proceso se lleva acabo de varios modos según el tamaño y naturaleza del cuerpo a tratar. Para que la película metálica sea uniforme es preciso limpiar la superficie a platear; si se trata de vidrio, puede limpiarse con alcohol; para

desengrasar, si se trata de un material plástico, habrá que elegir un líquido que no estropee la superficie.

Para sensibilizar la superficie a tratar se emplea también otra solución de un reductor metálico como $\text{Cl}_2\text{Sn}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1 gr. más 4cc de ClH por 100 ml) que al sumergir en ella los cuerpos un minuto queda en ellos alguna partícula de sal que, sin duda, hace de núcleo de reducción de la plata y se forma así una película más uniforme.

Algunas veces se usa la evaporación al vacío del metal utilizado para recubrir la superficie no conductora, calentando aquel a una temperatura elevada. El calor lo transmite un hilo incandescente de wolframio. Este método es utilizado para la formación de películas finas de oro y plata creadas para la fabricación de gramófonos y espejos.

Baños electrolíticos

Generalidades.- De los elementos conocidos, aproximadamente unos 30 pueden ser depositados electrolíticamente de sus soluciones acuosas; algunos científicos los ordenan según su posición en la tabla periódica, ya que según esta es posible predecir en algo el comportamiento en los baños electrolíticos de un metal determinado.

Hasta hace algunos años solo se usaban baños constituidos por sales sencillas o cianuros dobles del metal recubridor, pero en la actualidad se usan baños formados a base de acetatos, fluoboratos, sulfamatos, sulfonatos, entre los principales. Estos se unen a muchas otras sales conocidas como las de los ácidos acético, tartárico, cítrico, etc, para modificar las propiedades de un baño determinado.

Dependiendo del constituyente mas importante los baños son clasificados en dos grupos:

1.- Baños formados por sales sencillas: Las sales pueden ser orgánicas e inorgánicas, entre las primeras las más usadas son los cloruros y los sulfatos, ya que los nitratos son reducidos a amoniaco en el cátodo. Los cloruros tienen buena conductividad, pero son muy corrosivos; así, se usan estos para los baños de cobre, cinc, níquel, estaño, hierro y oro. Gracias a su elevado grado de disociación, estas sales sencillas se caracterizan por la buena conductividad y elevada concentración iónica.

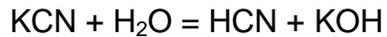
Entre las sales sencillas orgánicas podemos citar las del ácido acético, las mismas que han sido ensayadas para el plomo y níquel a base de baños formados por los acetatos de esos metales. El acético es un ácido relativamente débil que junto a sus sales tienen un excelente poder amortiguador con un pH de 3 a 5; cabe recalcar que la conductividad de estos baños es inferior a la de los cloruros o sulfatos.

2.- Baños formados por sales complejas: Entre las sales complejas de este grupo se cuentan los cianuros dobles de un metal pesado y uno alcalino; se pueden formar disolviendo el cianuro en una solución de algún cianuro alcalino; también pueden usarse otros compuestos distintos, por ejemplo, CO_3Cu , CuO o ClAg , los mismos que se disuelven en el cianuro alcalino dando así mismo el cianuro complejo y el carbonato o cloruro alcalino correspondiente, que pueden tener alguna influencia en las propiedades del baño.

No se sabe con exactitud el complejo presente en un baño determinado, ya que pueden existir juntos dos o mas complejos de un mismo metal; los cianuros de plata, oro, cinc y níquel se ionizan dando los iones $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Zn}(\text{CN})_4^{=4}$ y $\text{Ni}(\text{CN})_4^{=4}$ mientras que los metales que poseen diferente valencia como el Cd y Cu, pueden ionizarse de la siguiente manera:



Los baños cianurados tienen reacción alcalina debido a la hidrólisis que sufren los cianuros de sodio o potasio y en menor grado los cianuros complejos:



Los cianuros alcalinos absorben el carbono del aire originando carbonatos y HCN libre; pero esto se puede retardar añadiendo al baño NaOH; de la misma manera se forma carbonato por oxidación anódica del cianuro alcalino, por lo que es común añadir cierta cantidad de carbonato sodico o potasico.

Otras sales usadas son las que se originan al tratar los hidróxidos de metales como el Ni, Fe, etc; con ácidos orgánicos que contengan grupos OH^- en su molécula, como son el ácido Tátrico $(\text{COOH})_2\text{-(CHOH)}_2$ o el cítrico $(\text{CH}_2)_2\text{-COH(COOH)}_2$. Es sabido que los hidróxidos de níquel y hierro son insolubles en solución alcalina, pero permanecen en solución si existen en el baño los compuestos orgánicos citados, debido a que se forman los complejos correspondientes como lo prueba el hecho de que cambien de color las disoluciones.

Entre las otras sales complejas inorgánicas podemos citar los Fluorosilicatos, que son sales del ácido SiF_6H_2 que se emplean en la refinación del plomo y en el emplomado electrolítico; los Fluorosilicatos, que son las sales de ácido BF_4H que, por ser un ácido fuerte, presentan en solución un pH bajo, se emplean en la formación de los baños de plomo, cobre y cinc y se comportan como los sulfatos, puesto que también presentan una gran solubilidad y elevada conductividad debido a su alto grado de disociación.

COBREADO

Ya que el cobre posee dos valencias, este da lugar a dos compuestos cúpricos y cuprosos, siendo mas económico usar el cobre en forma cuprosa, ya que haciendo estudios electroquímicos de estos baños se descubrió que 1 amp/hora deposita 2,372 gr. de cobre a partir del ion Cu^+ y 1,186 a partir del ion Cu^{++} .

Los baños mas usados en la practica son dos: uno de ellos contiene sulfato de cobre y acido sulfurico, llamado tambien baño acido, y el otro esta constituido por una solucion alcalina de un cianuro doble de cobre y potasio, conocido este ultimo como baño alcalino.

Baño acido.-

$\text{SO}_4\text{Cu}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250 gr/l
SO_4H_2	50-75 gr/l
Temperatura	20 a 50 °C
Densidad de corriente	2 a 5 amp/dm ²

Tabla 2.1. Especificaciones técnicas del baño de cobre

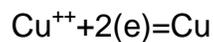
El baño de cobre acido es uno de los mas sencillos que se conoce en la practica de la Galvanostegia.

Se debe tomar en cuenta que este no puede emplearse para recubrir hierro o cinc, o cualquier otro metal que se encuentre por encima de este en la seri de tensiones, ya que de ser asi el Cu^{++} es desplazado por aquellos metales y se precipita en forma poco adherente. Para cobrear el hierro primero se produce sobre este una fina capa de cobre en un baño alcalino y luego se lo pasa a un baño acido.

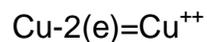
Los componentes mas importantes de un baño de este tipo son el sulfato de cobre y el acido sulfurico, el primero se añade en estado de sal cristalizada,

$\text{SO}_4\text{Cu}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$; ambos productos se encuentran en el comercio con algunas impurezas, pero debido a que el sulfato de cobre se forma a expensas de ácido sulfúrico es más aconsejable emplear un ácido puro que comenzar la operación con sulfato de cobre puro. La función del ácido en el baño consiste en reducir la resistividad, disminuir la concentración iónica del Cu^{++} , incrementar la corrosión del ánodo y prevenir la precipitación de las sales cuprosas, como consecuencia de la hidrólisis. El sulfato es el que suministra los iones de cobre.

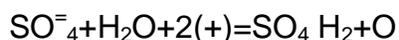
Al paso de la corriente por el baño, los iones de cobre Cu^{++} , son descargados en el cátodo tomando dos cargas negativas:



Mientras que en el ánodo sucede lo contrario



Para evitar un exceso de cobre en el baño, sobre todo cuando este se disuelve mientras no está en funcionamiento, se usan ánodos insolubles de plomo, con lo que el exceso de este elemento se precipita en el cátodo mientras que se regenera ácido sulfúrico en el ánodo:



Este oxígeno ataca al Pb y forma PbO_2 , a partir de entonces se desprende oxígeno gaseoso que arrastra gotas finísimas de la disolución ácida lo que puede causar irritación al operario, razón por la cual se debe tener bien ventilada la instalación

Los depósitos de cobre obtenidos a partir de los baños ácidos resultan un poco opacos, por lo que se han estudiado una infinidad de aditivos para lograr que estos sean lisos y brillantes; entre estas tenemos la cola, la gelatina y la caseína, de las tres la primera es muy usada, así como el gulac, el cual es un subproducto de la fabricación de la pulpa de papel por el procedimiento al sulfito.

Otros agentes de adición son los azúcares, los cuales son añadidos frecuentemente en estado de melaza en cantidades de 1 a 3 dr/l. También se usa la tiourea la misma que en cantidades de aproximadamente 0.01 gr/l, produce depósitos semibrillantes relativamente blandos, que pueden ser pulidos posteriormente.

Si se desean depósitos duros se deberá trabajar a una temperatura baja (20°C) y a densidades de corriente altas (5 a 15 Amp/dm²); por el contrario si se desean depósitos blandos deberá operarse a temperaturas elevadas y densidades de corriente bajas. La agitación para estos baños se hace ordinariamente mediante burbujas de aire. El contenido de ácido puede bajar hasta 10 gr/l.

Baños cianurados

CNCu	55 gr/l
CNK	100gr/l
KOH	45gr/l
PH	11.5 – 12.5
Temperatura	80°C
Densidad de corriente	Catodo: 5 Amp/dm ²
	Anodo: 2 Amp/dm ²

Tabla 2.2.. Especificaciones baño alto en cobre

CNCu	25 gr/l
CNNa	40gr/l
CO ₃ Na ₂	17r/l
PH	11.5 – 12.5

Temperatura	40°C
Densidad de corriente	0.5 a 1.5 Amp/dm ²

Tabla 2.3. Especificaciones baño bajo en cobre

El principal componente de estos es el cianuro doble de cobre y potasio; el ion de cobre se halla en estado de sal cuprosa, Cu⁺, a diferencia del baño ácido que lo tiene de forma cuprica, Cu⁺⁺.

El cianuro de sodio es una sal blanca y venenosa, por lo que se recomienda gran cuidado en su manejo; de igual manera hay que procurar que el cianuro no se ponga en contacto con ningún ácido, ya que por ejemplo el ácido cianhídrico, CNH, es uno de los venenos más rápidos que se conocen. La acción del carbónico del aire origina algo de carbonato a partir del cianuro/;



Desprendiéndose de esta manera, ácido cianhídrico. Para evitar esta reacción se añade al baño carbonato de sodio, lo cual mantiene la solución alcalina, evitando lo anterior.

El cianuro cuproso, CNCu, es blanco cuando es puro, pero se amarillenta cuando se trata de un producto comercial. Los baños de cianuro se preparan en dos grados, unos altos en cobre y otros bajos, como se muestra en las especificaciones.

Para los baños bajos en cobre se usa como agente de abrillantamiento el hiposulfito sódico en una cantidad de 2 gr/l, y se trata de no sobrepasar los 40°C ya que el cianuro se descompone a una temperatura mayor.

El rendimiento de corriente para estos baños es inferior al 80%, por lo tanto es menor a la que se obtiene en los baños ácidos (100%), además la tensión para separar al cobre de un baño cianurazo es mayor de la que se necesita para hacerlo en un baño ácido, esto es debido a que la resistencia eléctrica es superior y la polarización de los electrodos es más elevada. Los baños cianurados se usan principalmente para cobrear el hierro, ya que si se usan los baños ácidos en este los iones de cobre son descargados espontáneamente por el hierro, separándose así el cobre en forma esponjosa. Debido a que la capa de cobre formada a partir del baño cianurado no preserva perfectamente el hierro y el rendimiento es bajo, es necesario continuar el cobreado usando un baño ácido o depositar otro metal como níquel o cromo. Para incrementar el rendimiento de la corriente se han venido usando los baños formados mediante el Tartrato de sodio potásico $KC_4H_4O_6Na \cdot 4H_2O$.

CuCN	26 gr/l
NaCN	35gr/l
Na ₂ CO ₃	30gr/l
KC ₄ H ₄ O ₆ Na.4H ₂ O	45 gr/l
PH	11.5 – 12.5
Temperatura	70°C
Densidad de corriente	Catodo: 6 Amp/dm ²
	Anodo: 3 Amp/dm ²

Tabla 2.4. Especificaciones de baños cianurados

NIQUELADO

Especificaciones

SO ₄ Ni.6H ₂ O	105 gr/l
CINH ₄	15 gr/l
Cl ₂ Ni.6H ₂ O	15 gr/l
BO ₃ H ₃	15 gr/l
Temperatura	20 a 30 °C
Densidad de corriente	0.5 a 2 Amp/dm ²

Tabla 2.5. Baño diluido para trabajar en frio

SO ₄ Ni.6H ₂ O	240 gr/l
Cl ₂ Ni.6H ₂ O	45 gr/l
BO ₃ H ₃	30 gr/l
PH	1.5 a 3 ,o, 4.5 a 5.5
Temperatura	40 a 50 °C
Densidad de corriente	2 a 6 Amp/dm ²

Tabla 2.6. Baño concentrado o en caliente

SO ₄ Ni.6H ₂ O	70 gr/l
CINH ₄	15 gr/l
SO ₄ Na ₂ .10H ₂ O	160 gr/l
BO ₃ H ₃	15 gr/l
Temperatura	20 a 30 °C
Densidad de corriente	1.5 a 3 Amp/dm ²

Tabla 2.7. Baño para niquelar sobre cinc

SO ₄ Ni.6H ₂ O	240 gr/l
Cl ₂ Ni.6H ₂ O	45 gr/l
SO ₄ .CO.7H ₂ O	15 gr/l
BO ₃ H ₃	30 gr/l
SO ₄ (NH ₄) ₂	2.5 gr/l
(COOH) ₂ Ni	50 gr/l
HCHO (40%)	2.5 gr/l
PH	4.5
Temperatura	55°C
Densidad de corriente	3 Amp/dm ²

Tabla 2.8. Baño para niquelado brillante

SO ₄ Ni.6H ₂ O	210 gr/l
Cl ₂ Ni.6H ₂ O	60 gr/l
BO ₃ H ₃	30 gr/l
Niquel-benceno- disulfonato	7.5 gr/l
Cloruro-Triamino-etil- difenil-metano (Fuchina reducida)	5 a 10 mg/l
Temperatura	20 a 30°C
Densidad de corriente	1.5 a 3 Amp/dm ²

Tabla 2.9. Baño organico brillante

Generalidades: El níquel es uno de los mas importantes entre los que se usan como recubridores electrolíticos, no solamente por la poca cantidad de este que

se consume en el proceso sino también por la diversidad de usos a la que se destina. El níquel se usa para recubrir el hierro, latón, cinc, manganeso; frecuentemente se recubre a este con una delgada capa de cromo para que resista a los agentes atmosféricos.

Además, ya que el cromo electrolítico es poroso, se usa el niquelado como operación previa al cromado para que los depósitos resultantes sean mas compactos. El niquelado como el cromado, se usan en la recuperación de piezas metálicas que han sido desgastadas por rozamiento, con el fin de restaurarlas sus proporciones primitivas, así como para la preparación de electrotipos, matrices de gramófonos, tamices, etc.

Composición de los baños de níquel.- Como podemos observar al inicio del tema, existen muchos baños de níquel aunque todos poseen un sulfato de níquel, un cloruro, ordinariamente el cloruro de níquel, y un agente regulador del pH, casi siempre el ácido bórico.

Las sales usadas en los baños de níquel son los sulfatos, los cloruros y los carbonatos.

Sulfatos

Estos se adquieren en el mercado con una pureza comprendida entre el 29% y el 23%, ya que se cristalizan con seis o siete moléculas de cristalización, entre los que mas se usan tenemos:

- Sulfato doble de níquel y amonio($\text{SO}_4\text{Ni}\cdot 6\text{H}_2\text{O}\cdot \text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$), el cual no es muy usado en la actualidad ya que origina depósitos duros, y ha sido relegado casi únicamente para la preparación de electrotipos.

- Cloruro de Niquel ($\text{Cl}_2\text{Ni}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), este proporciona además de iones de níquel, una buena corrosión anódica y suficientes iones cloruros.
- Carbonato básico de níquel ($\text{NiCO}_3\cdot\text{Ni}(\text{OH})_2$), el mismo que cumple la función de neutralizar la solución sin introducir iones extraños.
- Acetato ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$), usado recientemente para mejorar la corrosión anódica.
- Formiato ($\text{Ni}(\text{CO}_2\text{H})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), también de uso reciente, mejora la calidad de los depósitos y da un mejor acabado superficial a la pieza.

Cloruros

Las sales de níquel contienen otros metales que perjudican la operación de níquelado, por lo que la AESF (The American Electroplaters and Surface Finishing Society) ha especificado las cantidades máximas permitidas de estos metales.

- Fe = 0.1%
- Zn = 0.05 %
- Cu = 0.02 %
- Acido libre = 0.1 %
- Residuos insolubles = 0.1 %

El sulfato de níquel obtenido de la refinación del cobre siempre contiene pequeñas cantidades de cobalto el que, en pequeñas cantidades, no es problema para las sales y los ánodos. El cobre y el cinc se pueden eliminar neutralizando el baño con amoníaco o carbonato de níquel mientras que el hierro si su pH no es muy bajo, se mantendrán dentro de unos límites aceptables. El

hierro también provendrá del ánodo en una proporción del 5%, el mismo que se alea con el níquel para favorecer su corrosión.

Además de las sales citadas, se añaden algo de cloruros para facilitar el ataque regular del ánodo de níquel, evitar su pasividad y poder usar ánodos de níquel puro. La naturaleza del cloruro es independiente, aunque si se desean buenos resultados se deberá usar el de níquel, en una proporción del 4%. Pueden usarse los cloruros de sodio, potasio o amonio. Igualmente se añaden los sulfatos de amonio, al estado de sulfato de sulfato doble de níquel y amonio, de magnesio o de sodio que reduzcan la concentración del ion de níquel, debido al efecto del ion común, SO_4^- ; en lo respectivo a la acción de los cationes, el amonio endurece los depósitos y el magnesio tiene un efecto beneficioso para la polaridad del baño.

Carbonatos

Además de las sales de níquel es preciso añadir a los baños un agente amortiguador del pH o buffer, para mantener este dentro de un margen determinado. Si los baños tuvieran únicamente sales de níquel, tendrían un poder amortiguador bajo y las diferencias de los rendimientos anódico y catódico originarían una variación del pH que se precisaría corregir continuamente, mediante adiciones de ácidos o bases.

Estos agentes amortiguadores retardan la variación del pH en el cátodo, evitando que se alcance el valor de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ en el que este se precipitaría; de esta manera se amplía la densidad de corriente límite bajo la cual se obtienen buenos depósitos. Como agentes amortiguadores se usan el ácido bórico, el acético y el fórmico; siendo de estos tres el más usado el primero.

Comúnmente se usan agentes abrillantadores, los que tienen la función de alisar los depósitos a medida que adquieren espesor, lo cual ocurre debido a que

cuando el agente abrillantador es de naturaleza coloidal, las micelas cargadas positivamente son atraídas por el cátodo y se ubican en los lugares de mayor densidad de corriente, ya que son aislantes, la corriente tiene que trasladarse a otros lugares, evitando así que los depósitos sean rugosos.

Como agentes de abrillantamiento se usan sales orgánicas como las de cobalto o cinc, y cuerpos orgánicos, como los formiatos, aldehídos, acetonas, etc. El uso de esto ahorra mucho el trabajo de pulido.

A estos últimos se puede añadir un agente que evite la picadura o pitting, que son puntos donde el depósito es más delgado debido a la presencia de finas burbujas de gases presentes en el cátodo; si esta se forma al inicio se formará un poco de lo contrario se tendrá un depósito más delgado, lo que es dañino en ambos casos. Para remediar esto se añade al baño peróxido de hidrógeno y un agente humedecedor.

Eliminación de impurezas.- Estas deben eliminarse de los baños de níquel, sobre todo si se desea obtener depósitos brillantes, en los que no es factible pequeñas oscilaciones de color o brillo. Estas pueden ser:

- **Hierro:** puede elevarse fácilmente, elevando el pH de los baños hasta un valor que haga que este se precipite en estado de hidróxido o de sales básicas y el correspondiente compuesto de níquel. Debido a que las sales trivalentes de hierro se hidrolizan a un pH más bajo, estas deberán ser oxidadas primero, para esto se añade en caliente agua oxigenada o persulfato amónico al 0.3%; previo a esto se neutraliza la solución con carbonato sódico hasta un pH=7 y se hierve. Los agentes oxidantes destruyen parte de las impurezas orgánicas presentes en el baño, mientras que el resto son eliminadas por precipitación cuando se las filtra.

- **Cobre:** El cobre se elimina junta al hierro al separar este por el metodo antes citado, sin embargo existen otros metodos especificos para hacerlo. Ya que el cobre es mas noble que el niquel, puede separarse introduciendo en el baño piezas de niquel limpias y desengrasadas, sobre las cuales se precipita el cobre mientras que el niquel se disuelve. Tambien pueden eliminarse el cobre y el plomo de los baños de niquel controlando bien las condiciones de electrolisis; para lo que se suspenden electrodos de niquel puro y se hace pasar corriente por el baño, con una tension de 0.8 voltios, hasta que se elimine todo el cobre. Esto ultimo se conseguira cuando al elevar la tension hasta unos 2.5 voltios, se deje de apreciar el deposito negro del cobre, y el niquel empiece a formarse con su blancura caracteristica.
- **Materias Organicas:** Estas pueden separarse del baño por absorción y oxidación; por absorción se añaden sustancias como carbon de madera finamente pulverizado, agitando fuertemente y filtrando; por oxidación puede eliminarse añadiendo la cantidad justa de permanganato de potasio, para lo que se debera hacer un ensayo aparte con una porcion de electrolito.

Aplicaciones.- El niquel puede depositarse directamente sobre el acero, aunque es preferible recubrirlo con una capa de cobre previamente, para que el deposito tenga una mayor adherencia.

Tambien se logra separar el niquel sobre objetos de cinc fundido, para lograr buena adherencia se emplean baños de elevado contenido de sulfatos para asi reducir la concentración ionica del niquel y aumentar la polarizacion catodica.

Para recubrir con niquel el aluminio o sus aleaciones, se sumergen los objetos en una solucion de cincazo sodico, para formar una capa de cinc, luego se

deposita sobre esta una capa de cobre usando un baño cianurazo y sobre este cobre ya puede separarse el níquel y el cromo en la forma ordinaria.

CROMADO

CrO ₃	250 gr/l
SO ₄ ⁼	2.5 gr/l
Temperatura	40 a 50 °C
Densidad de corriente	15 a 23 Amp/dm ²

Tabla 2.10. Especificaciones del baño de cromo

Generalidades.- Este es un proceso relativamente nuevo con respecto a los anteriores, ya que su propagación con fines decorativos o industriales data de 1926, como resultado de estudios experimentales de Fink¹. Este proceso precisa de mayores controles a los factores electroquímicos inherentes en los procesos galvanotécnicos.

Debido a las propiedades especiales de los depósitos de cromo, este ha adquirido gran popularidad y se usa para el recubrimiento de piezas de automóviles y otros muchos que requieren de un acabado brillante. El cromo electrolítico resiste la oxidación del aire hasta 400°C. Por su parte el cromado industrial se usa para la recuperación de piezas desgastadas por el uso, devolviéndoles las dimensiones iniciales de estas en aquellos lugares donde la resistencia al rozamiento es importante.

La dureza de los depósitos de cromo pueden variar entre 200 y 1000 unidades Brinell, los mismos que pueden modificarse controlando las condiciones de trabajo.

Baños de cromo

¹ C.G.Fink, obtuvo la patente número 1581 para este proceso, el 20 de abril de 1926

Estos baños usan ácido crómico, y se preparan disolviendo el anhídrido CrO_3 en agua; con lo que se forma el ácido dicromico $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{H}_2$.

Aunque se puede reducir catódicamente el cromo de sus sales sencillas (Cl_2Cr , Cl_3Cr y $(\text{SO}_4)_3\text{Cr}_2$), en soluciones acuosas, estos baños no han tenido aceptación en la práctica, debido sobretodo a la difícil separación de este metal por su carácter electronegativo elevado (-0.5 voltios) lo cual contradice su resistencia a la oxidación; pero además la sobre tensión del hidrógeno en el cromo es baja para que ello favorezca su reducción en el cátodo.

Con los baños de ácido crómico en los que el cromo actúa con valencia VI, se consigue un rendimiento del 15% en el cátodo 0.048 gr. por amp/h, si se opera con el Cl_3Cr que tienen cromo valencia III, se tendrá un rendimiento del 45% y se depositarán 0.29 gr por amp/h, es decir seis veces superior al anterior.

Las sales cromosas son muy inestables debido a su gran poder reductor, y las de cromo trivalente se hidrolizan ya en medio ácido ($\text{pH}=5.5$), lo cual da lugar a la formación de sales básicas.

El cromo de valencia VI es reducido por el hidrógeno desprendido en el cátodo hasta dejarlo en una valencia inferior, el compuesto correspondiente da lugar a un diafragma semipermeable que evita la reducción posterior del ácido crómico. Este diafragma es el cromato básico de cromo.

A los baños de ácido crómico usualmente se les añade pequeñas cantidades de otro ácido mineral como el FH , F_6SiH_2 y SO_4H_2 . En la actualidad se usa mucho el ácido sulfúrico el mismo que cumple casi siempre la siguiente relación:



Ademas para obtener un buen deposito es necesario ajustar los factores electroquimicos de la operación como la temperatura y la densidad de corriente.

En la practica existen dos tipos de cromado, el cromado brillante y el cromado duro o industrial. La principal diferencia entre estos reside en que el cromado brillante se deposita en capas inferiores a 0.001 mm, mientras que el cromado duro tiene un espesor superior inclusive llegando hasta las 0.5 mm.

- a) **Cromado brillante:** Este se se aplica sobre niquel, acero, laton o cobre, y tiene un uso extendido debido a que estos depositos frecuentemente no necesitan pulido posterior; lo cual es muy conveniente ya que el cromo es muy duro y su pulido mecanico es muy difícil.

La temperatura y la densidad de corriente son factores preponderantes para la obtención de un buen cromado brillante; por ejemplo si para una temperatura dada se incrementa la densidad de corriente, aumenta el rendimiento catodico y el aspecto del deposito de lechoso a vitreo para finalmente ser quemado.

Por el contrario, si a una densidad de corriente dada se va variando la temperatura, el rendimiento del catodo varia en sentido contrario al anterior; por tanto, si se desean obtener depositos de cromo de aspecto uniforme sera preciso mantener fijos la temperatura y la densidad de corriente.

Si se trabaja con catodos de superficie regular es facil mantener una densidad de corriente uniforme, pero si estos tienen una forma irregular, se podran allar puntos en los que la densidad de corriente sea hasta cinco veces mayor, en estos casos sera necesario ubicar los electrodos de forma que se logre un reparto uniforme de la corriente sobre ella. Usualmente se usan anodos auxiliares para trabajar en piezas voluminosas o irregulares, sobretodo si se desea recubrir interiores.

El poder de penetración de los baños de cromo es pequeño, y sobre objetos de forma irregular será difícil obtener depósitos de brillo uniforme; si se trata de metales con una elevada sobretensión de hidrógeno, el poder de penetración mejora y los depósitos obtenidos son de un brillo más uniforme, esto ocurre con los objetos de cobre y latón; si el metal posee una sobretensión baja esto no ocurre, como es el caso del hierro y el níquel.

Para cromar al hierro y al níquel, primero se los pasiva en ácido crómico, para lo que se recomienda introducir el cátodo en el baño mientras se cierra el circuito. Otra manera de mejorar la uniformidad de los depósitos sobre el hierro y el níquel, es cambiando la polaridad de los electrodos uno o dos minutos antes de iniciar la separación del cromo.

Debido a que el cromo electrolítico es poroso, los objetos a cromar usualmente son recubiertos con algún otro metal, para esto el más usado es el níquel, el mismo que ofrece al cromo una base brillante que mejora los depósitos.

Si se desea obtener depósitos resistentes a la corrosión generalmente se niquela primero sobre el metal base, luego se le recubre con una capa gruesa de cobre, la misma que pulida recubrirá los poros existentes, se vuelve a niquelar y finalmente se cromar.

- b) Cromado duro:** El cromado duro se aplica en capas de hasta 0.5 mm y es usado para recubrir la superficie de objetos que han de tener una buena resistencia al desgaste, protección anticorrosiva y las dimensiones que originalmente tuvieron piezas ya desgastadas por el uso .

El cromado duro o industrial, carece de brillo debido a que se trabaja con una densidad de corriente máxima para cada temperatura; por ejemplo, si se usa una densidad de corriente de 15 Amp/dm² y una temperatura de 45°C y recubriendo previamente sobre níquel, se obtendrán depósitos de aspecto

vidrioso y un poco mas duro, que si se usase una densidad de 20 Amp/dm^d sobre cromo simplemente.

Muchos de los usos de este tipo de cromado se debe a sus propiedades fisicas. La Dureza Brinell entre 300 y 900 HB; los depositos mas blandos se obtienen a temperaturas superiores a los 85°C y a densidades de corriente relativamente bajas.

El cromo duro ordinario obtenido a 40 o 50 °C es generalmente recomendable para fines decorativos y de resistencia al rozamiento; en cambio el cromo blando formado a altas temperaturas se usa para proteger al objeto contre la corrosion.

El cromado duro proporciona a las piezas una buena resistencia al rozamiento y a la corrosion, pero no cambia las propiedades del metal base; si se va a recubrir una pieza que no ha de experimentar grandes esfuerzos puede usarse acero al carbono ordinario, y asi el proceso evitara emplear aceros aleados mas costosos; pero si las piezas van a sufrir esfuerzos elevados sera preferible utilizar un metal que pueda soportarlos.

- c) **Cromado poroso:** Este es un metodo relativamente nuevo, que es usado para cromar los cilindros y anillos de los motores Diesel, donde se precisa de una buena lubricación.

Una vez que se ha cromado las piezas por el metodo convencional, estas son atacadas anodinamente para fomar poros, en los cuales se introducira el lubricante. Este ataque se hace en un baño de acido cromico para agrandar y profundizar los poros, pero luego se debe laminar estos depositos para dejarlos con las dimensiones deseadas.

2.2 DETERMINACION DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

Los factores con los que se cuentan para influir en las características de un depósito electroquímico son de dos clases:

- Factores electroquímicos: Densidad de corriente, agitación de la solución y temperatura de la misma.
- Los concernientes a la composición del baño: Naturaleza del electrolito, pH, agentes de adición, concentración iónica y el poder de penetración.

Densidad de corriente: Se debería elevar la densidad de corriente para mejorar el rendimiento de cualquier proceso galvanotécnico, ya que mientras más elevada sea esta más finos serán los cristales del depósito, ya que de esta manera se está creando más núcleos de cristalización.

Sin embargo si se eleva demasiado la corriente en el baño se formarán depósitos mates, los que se tornarán casi negros si esta sigue incrementándose, debido al desprendimiento simultáneo de gases.

Al incrementar la densidad de corriente, disminuye la concentración iónica de la película del líquido junto al cátodo y la polarización se incrementa. La elevación del potencial catódico a que ello da lugar, permite el desprendimiento del hidrógeno gaseoso, lo cual nos indicará una densidad de corriente excesiva, excepto en el caso del cromado. Por tanto se debería operar con una densidad de corriente determinada, para lo que será necesario conocer la superficie del cátodo a recubrir, y disponer en la instalación de un amperímetro, un voltímetro y una resistencia en cada baño.

Agitación: La agitación de la solución hace que esta sea más uniforme, evitando que las soluciones densas se estratifiquen sobre el fondo de las cubas. La agitación, también suministra al cátodo la sal que se va agotando debido al paso de la corriente, reduciendo, además, el espesor de la película de líquido

adherida a este electrodo. La consecuencia inmediata de la agitación en la electrolisis, es la posibilidad de usar una mayor densidad de corriente.

Generalmente se usa agitación mediante aire (burbujas), aunque se ha observado que mediante este sistema se levantan los lodos sedimentados en el fondo de la cuba, produciendo un enturbiamiento de los baños y depositos rugosos. Para evitar estos inconvenientes es necesario recubrir con bolsas de tela los anodos, para recoger en ellas los sedimentos, y , a su vez, es conveniente filtrar continuamente el electrolito. Si el baño es cianurado la agitación aire da lugar a carbonatos que inutilizan la solución. La agitación disminuye la polarización y, por tanto, el poder de penetración del baño.

Además de lo anterior, se puede optar por una agitación mecánica, como lo muestra la figura.

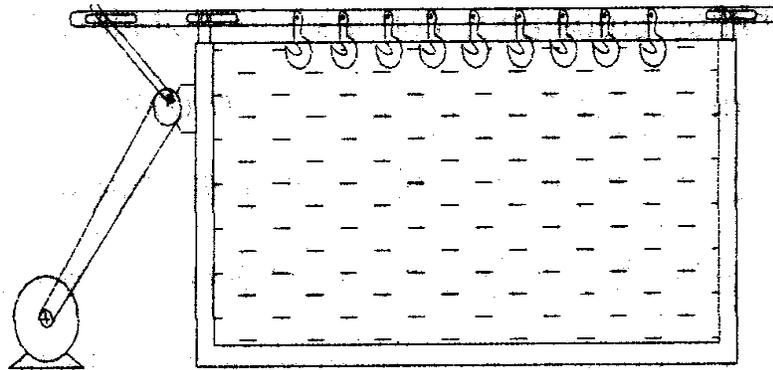


Figura 2.1. Agitador mecánico de la pieza²

Temperatura: La temperatura hace que la solución sea más conductora, permitiendo emplear una densidad de corriente superior a la ordinaria, y esta es la razón por la que, en caliente, se originan depósitos de granos más finos, a pesar de que un aumento de temperatura origina cristales más grandes; la densidad de corriente, pues, contraresta el efecto de temperatura.

² www.galvanotecnica.com

No obstante, a medida que se aumenta la temperatura también lo hace la disociación de las sales, disminuye la viscosidad de las soluciones y aumenta a la vez la conductividad de la película líquida junto al cátodo. Además, la temperatura permite más fácilmente eliminar los gases en el cátodo, disminuyendo su absorción, lo que produciría depósitos frágiles, como sucede con el hierro, níquel y cobalto.

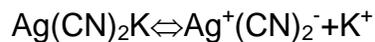
Naturaleza del catión y el anión: En la mayoría de los baños el catión se introduce mediante alguna de sus sales, excepto en los baños de cromo, en los que se usa exclusivamente ácido crómico, CrO_3 . Además se añaden sales de conducción, generalmente cloruros o sulfatos de sodio, potasio o amonio que introducen otros cationes; se han observado ciertas ventajas al añadir estas sales, como es el caso de las sales de amonio en los baños de níquel. Estos cationes se difunden en la película junto al cátodo influyendo sobre el estado de las sustancias allí localizadas. De igual manera a las anteriores actúan las sales de los ácidos clorhídrico y sulfídrico.

Pero si solo influyera la concentración iónica del catión, debería obtenerse idénticos resultados empleando cloruros o sulfatos de un mismo metal, tales como el cobre, níquel o zinc; realmente se encuentran diferencias sensibles en el empleo de baños preparados con las sales citadas, que no pueden ser explicadas solamente por sus disociaciones o concentraciones iónicas. Es preciso, por tanto, suponer que el anión tiene influencia en el baño, quizás por adoptar la forma coloidal en la película catódica.

Concentración iónica: Se debería trabajar con soluciones de baja concentración iónica para obtener depósitos finamente cristalinos, ya que esto da lugar a muchos núcleos de cristalización, y los cristales resultantes serán pequeños; en el caso opuesto estos podrán crecer más deprisa.

La concentración real de un ion determinado es función de un sinnúmero de factores, tales como la concentración molar, el grado de ionización, la temperatura, la presencia de sales con un ion común y la formación de complejos químicos. En la práctica la disminución de la concentración iónica se realiza por alguno de los siguientes procedimientos:

- Por la adición de iones comunes: Este método produce únicamente un cambio pequeño en la concentración iónica del metal que se está recubriendo, sobre todo si aquella es concentrada, ya que limita la solubilidad de la sal añadida. Por ejemplo: el número de iones de cobre existente en una solución de SO_4Cu podrá reducirse añadiendo a la solución otro sulfato soluble, tal como el SO_4Na_2 .
- Por la formación de complejos: Si se forma un complejo del ion considerado conseguiremos un mayor efecto; así, por ejemplo, si el ion Ag^+ lo tenemos al estado de cianuro doble de potasio, $\text{Ag}(\text{CN})_2\text{K}$, que es el resultado de la unión del cianuro alcalino con el de plata, la ionización del mismo tendrá lugar en dos fases:



Luego, el ion complejo se disocia dando iones plata, aunque en cantidad pequeña; así:



La concentración del ion metálico es baja como resultado de la ionización secundaria, pero el ion complejo de la primaria sirve como un proveedor de iones Ag^+ , que suministra a medida que estos quedan encajados en la red cristalina. Los baños formados por cianuros dobles son útiles para la galvanotecnia del cobre, plata, cadmio, zinc y latón. Otros complejos son igualmente utilizados para la preparación de baños: por ejemplo, los baños de níquel amoniacales, en donde el Ni se halla formando un complejo con el

amoniac; los citratos forman igualmente complejos con algunos metales presentes en el baño.

pH: El pH tiene mucho que ver con la obtención de depositos finos y por tanto brillantes sobre el metal base; por ejemplo: el niquel, zinc y hierro necesitan de un pH muy bajo para obtener depositos finos, el niquel particularmente necesita de un pH proximo a 5,5 debido a que el proceso galvanotecnico produce cierto desprendimiento de gas causando que cierta cantidad de hidrógeno quede incluido en el metal, dando a este deposito un brillo característico.

El pH de una disolución debe considerarse de acuerdo con el lugar que ocupe el ion metalico, que se reducira catodicamente, por lo que se tendra dos casos:

a) Si el ion es mas noble que el hidrógeno: Esto es si este se encuentra muy por debajo del hidrógeno en la serie, de ser asi podra ser separado de las soluciones acidas con una corriente alta. Este es el caso del cobre, plata, oro, etc. Por tanto si desea separar estos metales con un buen rendimiento de corriente, el electrolito debera ser casi neutro.

b) Si el ion es mas innoble que el hidrógeno: Esto significa que este esta situado por encima del ion H^+ . Si este es el caso, sera el hidrógeno el que se desprendera preferentemente, de ahí la posibilidad de separar el ion Zn^+ de una disolución acida, sin usar demasiada corriente.

Una vez que se conoce el valor de pH mas conveniente para el baño deseado, se puede conocer su valor mediante el uso de tiras para medir pH. Si el valor de pH es muy alto se puede añadir acido para reducir su valor, y si por lo contrario se desea subirlo, habra que agregar alcalil.

Poder de penetración: Esta propiedad se refiere a la capacidad del baño de distribuir regularmente el deposito sobre toda la superficie del catodo. Si el

catodo posee una superficie irregular, las partes mas cercanas al anodo se recubriran con una capa mas gruesa que aquellas que estan mas alejadas, debido a que la resistencia ohmica del electrolito es menor.

Un termino muy importante en esta parte es el de *distribución primaria de la corriente*, el mismo que se refiere a la densidad de corriente sobre la superficie del catodo a recubrir, mientras no se presente ninguna polarizacion catódica o esta sea igual por todo el. Esto depende del electrolito y de la forma del catodo.

En la Galvanostegia se trata de que la desigual distribución de la reducción de los iones metalicos en el catodo sea contrarestada por otros fenómenos que actúen en sentido contrario. Una disolución que conduce a una distribución de la densidad de corriente distinta a la que tendría si solamente se considerase la resistividad del electrolito, se dice que tiene poder de penetración.

Trabajos publicados por Blum³, han demostrado que el poder de penetración es funcion del modo en que varian el potencial catodico y la resistencia del electrolito con la densidad de corriente.

Un metal que se reduce en un punto del catodo que se halla mas cercano mas cercano del anodo que otros, lo hara con mayor intensidad que en los mas distantes; produciendo un empobrecimiento de iones en dicho punto que da lugar a una polarizacion por concentración, lo que tiene el mismo efecto que un aumento de la resistencia ohmica entre el anodo y los puntos cercanos del catodo; es por esto que la corriente se dirige hacia otros lugares mas alejados, poniendo de manifiesto el poder de penetración de la solucion.

Para resumir, si se necesita en buen poder de penetración se usaran soluciones altamente conductoras.

³ Trans.Am.Electrochem.Soc. (1923)

Limpieza de los objetos para su recubrimiento.- Si se desea conseguir depositos adherentes y duraderos es preciso limpiar bien la superficie del metal base, para eliminar oxidos producidos por la corrosion, y materias organicas como grasas y aceites. Para tal efecto tenemos los siguientes tipos:

1.- Limpieza mecanica.- Esta incluye operaciones como el soplado con arena o perdigones de acero, la agitaci3n en tambores giratorios y la limpieza mediante cepillos de alambres metalicos o discos de paños ayudados por la accion de abrasivos. Todo lo anterior tiene una accion importante sobre el aspecto, adherencia y porosidad del deposito, debido a que estos no solo cambian el contorno de la superficie sino que tambien afectan la estructura del metal base, originando una capa un poco frágil producida en el material sometido al trabajo mecanico. Esta capa frágil sera disuelta en el ataque químico o electroquímico posterior.

2.- Decapado químico.- Antes de recubrir una superficie metalica se debera eliminar la capa de oxido que existe en todos los metales, la misma que puede ser producida por la corrosion atmosferica, el oxido ferrico Fe_3O_4 originado por el trabajo mecanico en caliente, o por una capa fina oxidada no visible que aparece en las superficies aparentemente limpias.

Estos oxidos se eliminan mediante acidos, cuyas concentraciones y temperatura dependen de la naturaleza y la cantidad de estos a eliminar. Por ejemplo si se desea eliminar el oxido ferroso ferrico formado en el trabajo mecanico en caliente, se necesitara de un ataque intenso. Al ataque intenso se le conoce como pickling, mientras que un ataque leve o moderado con acidos se le llama dipping.

Para el dacapado se usan generalmente los siguientes acidos:

- ClH (Acido Clorhídrico): Es el mas efectivo, y las sales producidas por este son solubles, pero su elevado precio no lo hace muy utilizado.
- SO_4H_2 (Acido Sulfurico): No es tan efectivo como el primero pero es muy usado debido a su precio conveniente.
- FH (Acido Fluorhidrico): Es usado para eliminar la sílice que se incrusta en la superficie del metal durante el soplado con arena (sand blasting), asi como tambien la que esta contenida en el propio metal.

En los tres casos anteriores se usan concentraciones 2N.

Es preciso regular el ataque de los acidos a los materiales ferrosos mediante inhibidores, los cuales generan burbujas a presion que levantan las escamas de oxido para que caigan al fondo del tanque, ademas estos evitan que el acido se pierda por dispersión al formar una espuma en la superficie del mismo. Los inhibidores son cuerpos organicos que originan soluciones coloidales que migran hacia la superficie del acero aumentando la sobretencion del hidrógeno, deteniendo asi el ataque.

Luego del decapado es aconsejable realizar otro ataque anodico para eliminar los residuos del inhibidor sobre la superficie, ya que esto puede originar depositos fragiles.

En el decapado químico, si el acero actua como catodo, algo de hidrógeno quedara ocluido, al cual se le atribuye la fragilidad que adquiere el material ferroso, especialmente si tiene alto contenido de carbono.

Lo anterior es importante tenerlo en cuenta para piezas de gran responsabilidad. Para eliminar este hidrógeno absorbido es conveniente calentar la pieza, para recuperar las cualidades primeras de esta.

3.- Decapado electrolítico.- La eliminación de la capa de óxido que aparece sobre los materiales a recubrir, también se la puede hacer electroquímicamente, sumergiendo estos en el cátodo en un baño de ácido sulfúrico al 30% y con una temperatura de aproximadamente unos 60°C; de esta manera se reduce el óxido a metal, reduciendo la pérdida de material, el inconveniente de este proceso es la absorción de hidrógeno, lo que fragiliza al elemento recubierto. También se pueden usar los objetos a decapar como ánodos, para que así las propiedades físicas de este no cambien, pero se perdería mucho material por disolución anódica.

4.- Eliminación de grasas y otros materiales orgánicos.- Casi siempre las superficies de los objetos a recubrir contienen grasas en cantidad variable, procedentes de las manipulaciones mecánicas o de las manos del operario; si la grasa es saponificable, o sea que puede ser convertida en jabón, puede eliminarse fácilmente mediante un tratamiento adecuado con soluciones calientes de sosa cáustica; si se trata de aceites minerales insaponificables, se deberá usar disolventes apropiados.

Para el desengrase de los objetos mediante disolventes orgánicos se usan la gasolina, el benceno y el tetracloruro de carbono. Los primeros se usan debido a su precio bajo, pero presentan el peligro de incendio, y en el caso particular del benceno su toxicidad. Por estas razones se emplea mucho el tetracloruro de carbono CCl_4 , a pesar de su precio elevado.

El desengrase también se lleva a cabo de un modo rápido trabajando en fase gaseosa, con este fin se usan recipientes cerrados en cuyo interior cuelgan los objetos a limpiar; los vapores del disolvente se condensan sobre estos, el líquido formado disuelve la grasa y gotea sobre el fondo del recipiente, a continuación una nueva cantidad de disolvente se condensa sobre el cuerpo para continuar así su acción.

Las grasas pueden ser emulsionadas mediante soluciones alcalinas a base de hidroxidos, jabon o carbonato sodico, que se venden para estos fines. Los mas usados para estos fines son:

- Carbonato sodico anhídrido y cristalizado, $\text{CO}_3\text{Na}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Hidroxido de sodio, NaOH
- Silicato, SiO_3Na_3
- Fosfato sodico, $\text{PO}_4\text{Na}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- Borax, $\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2$

Para intensificar la accion emulsionante de estas sustancias se añaden al liquido materias solidas finamente divididas, tales como tierras de infusorios, carbon, etc, que tambien actuan como absorbentes.

La eliminación de las grasas pueden llevarse a cabo tambien electroliticamente, actuando estos como catodo en un baño alcalino; el desprendimiento acelerado de hidrógeno en finas burbujas, junto a la accion del alcali libre, realizan la eliminación de las materas grasas en pocos minutos, trabajando con una densidad de corriente de unos 4 amp/dm^2 y una temperatura superior a los 50°C .

Equipo eletrico

Los aparatos mas comunes en toda instalación galvanotecnica son los siguientes: cuba o recipientes, agitadores, filtros, calentadores y como elemento principal el equipo electrico.

Generadores de corriente.- La galvanotecnia necesita de una fuente de corriente continua y de bajo voltaje: debido a que no es economico el transporte de este tipo de energia electrica es necesario generarla en el mismo lugar que se le va a usar. En la mayoria de los casos es necesario unos 6 voltios, excepto en el caso de cromado donde se necesitan aproximadamente 12 voltios.

Los sistemas mas usados para producir corriente continua son:

1. Las baterías de acumuladores
2. Los rectificadores de corriente alterna
3. Las dinamos acopladas directamente a un motor

Las primeras son usadas para instalaciones pequeñas, como aquellas destinadas al plateado, dorado y platinado.

Los rectificadores de corriente alterna son usados para los procesos anteriores incluido el cromado. Ya que la corriente de la red es de 110 o 220 voltios, se necesitaria reducir esta tensión, para lo que se necesita un reostato. Se fundan aquellos en que la superficie de los electrodos constituidos por oxidos de cobre, u oxido de aluminio, o los sulfuros de cobre magnesio o selenio, permiten el paso de la corriente en un sentido unicamente, mientras que las detienen cuando llevan sentido contrario, transformando de esta manera una corriente alterna en continua.

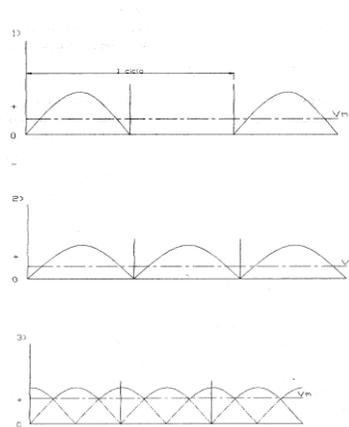


Figura 2.2. Curvas de rectificación de corriente alterna⁴

Los dinamos de corriente continua acoplados al motor se construyen desde 6 voltios y 25 amperios hasta 8 voltios y 1000 amperios. La exitacion para este

⁴ www.galvanotecnica.com

generador puede ser en serie, shunt o compound, de los cuales la mas usada es la ultima.

Distribución de la corriente.- La corriente es transportada mediante conductores gruesos desde el generador hasta la cuba, mediante conductores gruesos de cobre para evitar perdidas de tensión. Cuando se tienen varias cubas que funcionen con un mismo generador estas se pueden montar en serie o en paralelo, y para ajustar la tensión en cada baño sera preciso montar en cada uno de ellos un reostato.

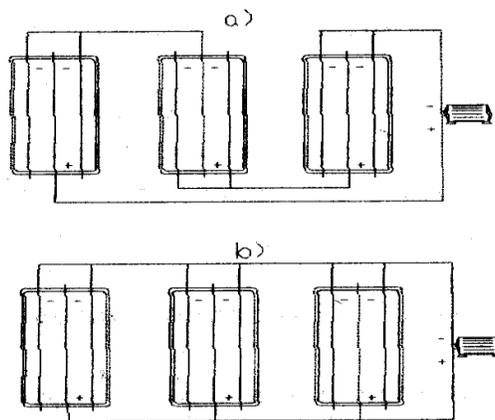


Figura 2.3 . Cuba en serie y paralelo⁵

Es necesario usar conductores de poca resistencia, ya que la tensión disponible es limitada; por tanto si se introduce una resistencia electrica en el circuito se disminuira el voltaje en una cantidad igual a $R \times I$. Asi por ejemplo si se trata de una corriente de 50 amperios y la resistencia en la linea es de 0,02 Ohm, la caida de tensión sera ($50 \times 0,02 = 1$ voltio), es decir el 16% del voltaje técnico disponible. La energia perdidad sera $I^2 \times R = 50^2 \times 0,02 = 50$ watts. Lo mismo que se transformara en calor y puede llegar a deteriorar el propio conductor,

⁵ www.galvanotecnica.com

ademas que con la temperatura se incremente la resistencia electrica. Los metales mas usados para los conductores son el cobre y el aluminio. Igualmente se debera tener cuidado con las uniones entre los conductores, estas deberan ser perfectas, ya que de lo contrario la resistencia que se introduce es considerable.

Instrumentos de medida.- Se usaran amperímetros y voltímetros para medir la densidad de corriente y el voltaje aplicados en el baño respectivamente, estos iran conectados como se muestra a continuación.

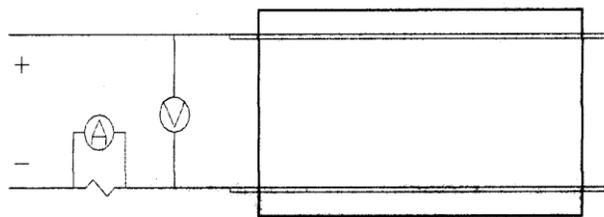


Figura 2.4. Instrumentos de medida⁶

Por lo que muestra la figura, toda la corriente va a pasar por el amperímetro, pero si tenemos montada una resistencia shunt en paralelo con este, la corriente se desviara por esta y evitara que este se recaliente. Eso si se debera tener en cuenta el valor de la resistencia shunt conectada, por ejemplo si la conductancia es 9 veces mayor, por esta resistencia pasaran 9/10 partes de la corriente total, por lo que la escala del amperímetro indicara valores 10 veces mayores.

Ya que los voltímetros se conectaran en paralelo con la cuba, estos deberan tener una resistencia elevada, para evitar asi que una corriente de gran magnitud se desvie del baño y se dirija hacia este instrumento..

⁶ www.galvanotecnica.com

La densidad de corriente es uno de los factores que gobiernan las propiedades de los depositos electroliticos, por lo que es importante determinarla, para lo que se debera medir la superficie efectiva del catodo.

Para cuerpos regulares es facil conocerla y asi determinar la densidad de corriente.

Pero si tengo una pieza de forma irregular podemos hacer lo siguiente: Si se necesita de una densidad de 5 amperios/dm², primero haremos pasar una corriente de 5 amperios por una lamina plana de 1 dm² que actuara como catodo, luego mediremos el voltaje obtenido con esa corriente.

Es de suponer que ese voltaje sera el que nos proporciona una densidad de corriente igual. Luego reemplazamos esta placa por el cuerpo irregular y variamos el voltaje hasta obtener uno igual al anterior.

Esto se cumplira aproximadamente siempre que las condiciones del baño, tales como la composición y temperatura permanezcan constantes.

2.3 MATERIALES PARA EL RECUBRIMIENTO

ANODOS

Cobre

- Cobre electrolitico.- Viene en forma de laminas delgadas y es muy puro.
- Cobre fundido.- Este contiene como impurezas Cu₂O, lo cual origina los barros anodicos.
- Cobre laminado.- Estos tienen la ventaja de presentar unos cristales muy pequeños lo cual hace que se disuelvan mas uniformemente.

Niquel

Los anodos de niquel poseen actualmente una pureza superior al 99%, generalmente son laminados y fundidos, el inconveniente es que son un poco caros.

Estos poseen cierta proporción de impurezas las cuales favorecen su ataque y disolución; los barras anodicas estan constituidos de finas particulas de niquel y oxidos de este, asi como tambien de carbon. Para evitar que estas impurezas alcancen el catodo, se usan bolsas de algodón que recubren el anodo, las mismas que deben ser limpiadas periódicamente para que su función de filtro no sea interrumpida.

Cromo

Los anodos usados en el cromado son insolubles al paso de la corriente, pero no es recomendable su uso ya que este se desprende y se deposita en el fondo del baño en forma de sal cromica, lo cual no es recomendable para este tipo de baños. Por esto el cromo es suministrado desde el acido cromico, que es mas economico.

Plateado

Los anodos son de plata pura laminada, y bien recocida para asegurar una corrosion uniforme.

Dorado

Los anodos usados son de oro puro; si se han de preparar depositos de color se emplearan las aleaciones correspondientes. Si se usan anodos de oro tambien su contenido en el baño se va incrementando, pues el rendimiento anodico es mayor que el catodico. Para evitar este inconveniente se usan anodos insolubles que sustituyen en parte o totalmente a los anodos de oro.

Cadmiado

Estos suelen ser de cadmio puro, frecuentemente en forma de esferas puestas en el interior de una espira de acero insoluble en el baño, las esferas de cadmio son puestas por la parte superior a medida que se disuelven y de esta forma se mantiene constante la superficie catódica.

Cincado

Generalmente se usan anodos de cinc puro, o de cinc amalgamado.

2.4.- ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS POLIMEROS

La [materia](#) esta formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como [redes](#) tridimensionales.

Existen polímeros naturales como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la [madera](#) y en los tallos de muchas [plantas](#), y se emplean para hacer telas y [papel](#). La seda y la lana son otros ejemplos. El hule de los [árboles](#) de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

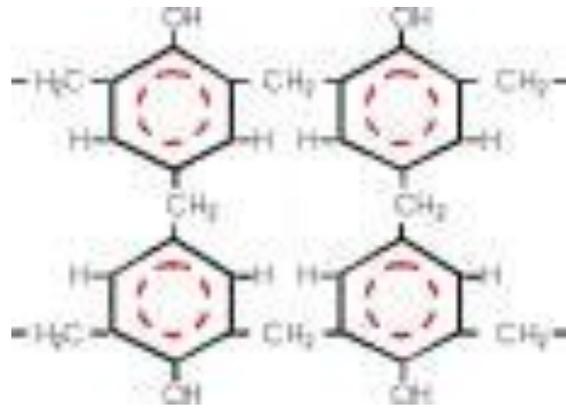


Figura 2.5. Estructura de los polimeros⁷

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son [materiales](#) sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas. Lo que distingue a los polímeros de los [materiales](#) constituídos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente [resistencia mecánica](#) debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición [química](#) del polímero y pueden ser de varias clases.

Concepto y clasificación

Un polímero (del griego poly, muchos; meros, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y [estructura](#) molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos. El término polímero designa una combinación de un número no especificado de unidades. De este modo, el trióximetileno, es el trímero del formaldehído, por ejemplo.

⁷ www.textoscientificos.com

Si el número de unidades es muy grande, se usa también la expresión gran polímero. Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales todas del mismo peso molecular, y no es necesario que tengan todas la misma composición [química](#) y la misma [estructura](#) molecular. Hay polímeros naturales como ciertas [proteínas](#) globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales tienen todas el mismo peso molecular y la misma estructura molecular; pero la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son [mezclas](#) de componentes poliméricos homólogos. La pequeña variabilidad en la composición química y en la estructura molecular es el resultado de la presencia de [grupos](#) finales, ramas ocasionales, variaciones en la orientación de unidades monómeros y la irregularidad en el orden en el que se suceden los diferentes tipos de esas unidades en los copolímeros. Estas variedades en general no suelen afectar a las propiedades del [producto](#) final, sin embargo, se ha descubierto que en ciertos casos hubo variaciones en copolímeros y ciertos polímeros cristalinos.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una muy buena [resistencia mecánica](#) debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases. Las más comunes, denominadas Fuerzas de Van der Waals.

Tipos de Polímeros Más Comunes

El [consumo](#) de polímeros o [plásticos](#) ha aumentado en los últimos años. Estos petroquímicos han sustituido parcial y a veces totalmente a muchos materiales naturales como la [madera](#), el algodón, el [papel](#), la lana, la [piel](#), el [acero](#) y el [cemento](#). Los factores que han favorecido el [mercado](#) de los [plásticos](#) son los [precios](#) competitivos y a veces inferiores a los de los [productos](#) naturales, y el hecho de que [el petróleo](#) ofrece una mayor disponibilidad de materiales sintéticos que otras

[fuentes](#) naturales. La [crisis](#) petrolera de 1974 también influyó en el aumento del [consumo](#) de los plásticos, sobre todo en la [industria](#) automotriz. Los plásticos permitían disminuir el peso de los vehículos, lo cual repercutía en un [ahorro](#) en el consumo de combustible por kilómetro recorrido. Entre los polímeros usados para reducir el peso de los automóviles se encuentran los poliésteres, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliuretanos, polietileno, nylon y ABS (acrilonitrilo-butadienoestireno). Sin embargo, el [mercado](#) más grande de los plásticos es el de los empaques y embalajes.

Veamos en qué forma los polímeros [derivados del petróleo](#) constituyen una parte muy importante de nuestra vida. Los encontramos en nuestros [alimentos](#), medicinas, vestidos, calzado, casas, edificios, escuelas, oficinas, campos, fábricas y en todos los vehículos usados como [medios](#) de [transporte](#).

POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos son polímeros de cadenas largas que cuando se calientan se reblandecen y pueden moldearse a [presión](#). Representan el 78-80% de consumo total. Los principales son:

- **Polietileno**

Éste es el termoplástico más usado en nuestra [sociedad](#). Los [productos](#) hechos de polietileno van desde materiales de [construcción](#) y aislantes eléctricos hasta material de [empaque](#). Es barato y puede moldearse a casi cualquier forma, extruírse para hacer fibras o soplarse para formar películas delgadas. Según la [tecnología](#) que se emplee se pueden obtener dos tipos de polietileno

Polietileno de Baja [Densidad](#).

Dependiendo del catalizador, este polímero se fabrica de dos maneras: a alta [presión](#) o a baja presión. En el primer caso se emplean los llamados iniciadores de radicales libres como catalizadores de polimerización del etileno. El [producto](#) obtenido es el polietileno de baja [densidad](#) ramificado;

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión se emplean catalizadores tipo Ziegler Natta y se usa el buteno-1 como comonómero. De esta forma es como se obtiene el propileno de baja densidad lineal, que posee [características](#) muy particulares, como [poder](#) hacer películas más delgadas y resistentes.

Polietileno de alta densidad (HDPE).

Cuando se polimeriza el etileno a baja presión y en presencia de catalizadores ZieglerNatta, se obtiene el polietileno de alta densidad (HDPE). La principal diferencia es la flexibilidad, debido a las numerosas ramificaciones de la cadena polimérica a diferencia de la rigidez del HDPE.

Se emplea para hacer recipientes moldeados por soplado, como las botellas y los caños plásticos(flexibles, fuertes y resistentes a la [corrosión](#)).

El polietileno en fibras muy finas en forma de [red](#) sirve para hacer cubiertas de [libros](#) y carpetas, tapices para muros, etiquetas y batas plásticas.

- **Polipropileno**

El polipropileno se produce desde hace más de veinte años, pero su aplicación data de los últimos diez, debido a la falta de [producción](#) directa pues siempre fue un subproducto de las refinerías o de la desintegración del etano o etileno.

Como el polipropileno tiene un [grupo](#) metilo (CH₃) más que el etileno en su molécula, cuando se polimeriza, las cadenas formadas dependiendo de la posición del [grupo](#) metilo pueden tomar cualquiera de las tres [estructuras](#) siguientes:

1. **Isotáctico**, cuando los [grupos](#) metilo unidos a la cadena están en un mismo lado del plano.

2. **Sindiotáctico**, cuando los metilos están distribuidos en forma alternada en la cadena.

3. **Atáctico**, cuando los metilos se distribuyen al azar.

Posee una alta cristalinidad, por lo que sus cadenas quedan bien empacadas y producen resinas de alta [calidad](#).

El polipropileno se utiliza para elaborar bolsas de freezer y [microondas](#) ya que tienen una buena resistencia térmica y eléctrica además de baja absorción de humedad. Otras propiedades importantes son su dureza, resistencia a la abrasión e impacto, transparencia, y que no es tóxico. Asimismo se usa para fabricar carcazas, juguetes, valijas, jeringas, baterías, tapicería, ropa interior y ropa deportiva, alfombras, cables, selladores, partes automotrices y suelas de zapatos.

- **Cloruro de polivinilo (PVC)**

Este polímero se obtiene polimerizando el cloruro de vinilo. Existen dos tipos de cloruro de polivinilo, el flexible y el rígido. Ambos tienen alta resistencia a la abrasión y a los productos químicos. Pueden estirarse hasta 4 veces y se suele copolimerizar con otros monómeros para modificar y mejorar la [calidad](#) de la

resina. Las resinas de PVC casi nunca se usan solas, sino que se mezclan con diferentes aditivos.

El PVC flexible se destina para hacer manteles, cortinas para baño, muebles, alambres y cables eléctricos; El PVC rígido se usa en la fabricación de tuberías para riego, juntas, techado y botellas.

- **Poliestireno (PS)**

El poliestireno(ps) es el tercer termoplástico de mayor uso debido a sus propiedades y a la facilidad de su fabricación. Posee baja densidad, estabilidad térmica y bajo [costo](#). El hecho de ser rígido y quebradizo lo desfavorecen. Estas desventajas pueden remediarse copolimerizándolo con el acrilonitrilo (más resistencia a la tensión).

Es una resina clara y transparente con un amplio rango de puntos de [fusión](#). Fluye fácilmente, lo que favorece su uso en el moldeo por inyección; Posee buenas propiedades eléctricas, absorbe poco [agua](#) (buen aislante eléctrico), resiste moderadamente a los químicos, pero es atacado por los [hidrocarburos](#) aromáticos y los clorados. Se comercializa en tres diferentes formas y calidades:

De uso común, encuentra sus principales aplicaciones en los [mercados](#) de inyección y moldeo.

Poliestireno de impacto(alto, medio y bajo) que sustituye al de uso general cuando se desea mayor resistencia. Utilizada para fabricar electrodomésticos, juguetes y muebles.

Expandible se emplea en la fabricación de espuma de poliestireno que se utiliza en la [producción](#) de accesorios para la [industria](#) de empaques y aislamientos.

Los usos más comunes son

Poliestireno de medio impacto: Vasos, cubiertos y platos descartables, empaques, juguetes.

Poliestireno de alto impacto: Electrodomésticos(radios, TV, licuadoras, teléfonos lavadoras), tacos para zapatos, juguetes.

Poliestireno cristal: piezas para cassettes, envases desechables, juguetes, electrodomésticos, difusores de [luz](#), plafones.

Poliestireno Expandible: envases térmicos, [construcción](#) (aislamientos, tableros de cancelería, plafones, casetones, etc.).

- **Estireno-acrilonitrilo (SAN)**

Este copolímero tiene mejor resistencia química y térmica, así como mayor rigidez que el poliestireno. Sin embargo no es transparente por lo que se usa en artículos que no requieren claridad [óptica](#). Algunas de sus aplicaciones son la fabricación de artículos para el hogar.

- **Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)**

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en [aleaciones](#) con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un [plástico](#) de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Sus cualidades son una baja [temperatura](#) de ablandamiento, baja resistencia ambiental y baja resistencia a los agentes químicos

RESINAS TERMOFIJAS

Estos materiales se caracterizan por tener cadenas poliméricas entrecruzadas, formando una resina con una estructura tridimensional que no se funde. Polimerizan irreversiblemente bajo [calor](#) o presión formando una masa rígida y dura. Las uniones cruzadas se pueden obtener mediante agentes que las provoquen, como en el caso de la producción de las resinas epóxicas.

Los polímeros termofijos pueden reforzarse para aumentar su calidad, dureza y resistencia a la [corrosión](#). El material de refuerzo más usado es la fibra de [vidrio](#) (la proporción varían entre 20-30%) El 90% de las resinas reforzadas son de poliéster.

Cuando se hace reaccionar un glicol y un isocianato con más de dos grupos funcionales, se forma un polímero termofijo

- **Poliuretanos**

Los poliuretanos pueden ser de dos tipos, flexibles o rígidos, dependiendo del polioliol usado. Los flexibles se obtienen cuando el di-isocianato se hace reaccionar con diglicol, triglicol, poliglicol, o una mezcla de éstos; Los poliuretanos rígidos se consiguen utilizando trioles obtenidos a partir del glicerol y el óxido de propileno. El uso más importante del poliuretano flexible son el relleno de colchones.

En el pasado, los paragolpes de los [autos](#) se hacían de metal; actualmente se sustituyeron por uretano elastomérico moldeado, el mismo material usado para los volantes, defensas y tableros de instrumentos, puesto que resisten la

oxidación, los aceites y la abrasión. Otros usos: bajo alfombras, recubrimientos, calzado, juguetes y fibras.

Por su resistencia al fuego se usa como aislante de tanques, recipientes, tuberías y aparatos domésticos como refrigeradores y congeladores.

- **Urea, resinas y melamina**

La urea se produce con amoníaco y bióxido de [carbono](#); La melamina está constituida por tres moléculas de urea. Tanto la urea como la melamina tienen propiedades generales muy similares, aunque existe mucha diferencia en sus aplicaciones. A ambas resinas se les conoce como aminorresinas. Estos artículos son claros como [el agua](#), fuertes y duros, pero se pueden romper. Tienen buenas propiedades eléctricas.

Se usan principalmente como adhesivos para hacer madera aglomerada, gabinetes para [radio](#) y botones. Las resinas melamina-formaldehído se emplean en la fabricación de vajillas y productos laminados que sirven para cubrir muebles de cocina, mesas y escritorios.

- **Resinas fenólicas**

La reacción entre el fenol y el formaldehído tiene como resultado las resinas fenólicas o fenoplast. Existen dos tipos de resinas fenólicas, los resols y el novolac.

Los **resols** se obtienen cuando se usa un catalizador básico en la polimerización. El producto tiene uniones cruzadas entre las cadenas que permiten [redes](#) tridimensionales Termofijas. El **novolac** se hace usando catalizadores [ácidos](#). Aquí las cadenas no tienen uniones cruzadas por lo que el producto es permanentemente soluble y fundible.

Las propiedades más importantes de los termofijos fenólicos son su dureza, su rigidez y su resistencia a los [ácidos](#). Tienen excelentes propiedades aislantes y se pueden usar continuamente hasta temperaturas de 150°C. Se usan para producir controles, manijas, aparatos, pegamentos, adhesivos, material aislante., laminados para edificios, muebles, tableros y partes de automóviles. Estas resinas son las más baratas y las más fáciles de moldear. Pueden reforzarse con aserrín de madera, aceites y fibra de [vidrio](#). Las tuberías de fibra de vidrio con resinas fenólicas pueden operar a 150°C y presiones de 10 kg/cm².

- **Resinas epóxicas**

Casi todas las resinas epóxicas comerciales se hacen a partir del bisfenol A (obtenido a partir del fenol y la acetona), y la epíclorhidrina (producida a partir del [alcohol](#) alílico). Sus propiedades más importantes son: alta resistencia a temperaturas hasta de 500°C, elevada adherencia a superficies metálicas y excelente resistencia a los productos químicos. Se usan principalmente en recubrimientos de latas, tambores, superficies de acabado de aparatos y como adhesivo.

- **Resinas poliéster**

Estas resinas se hacen principalmente a partir de los anhídridos maleico y ftálico con propilenglicol y uniones cruzadas con estireno. El uso de estas resinas con refuerzo de fibra de vidrio ha reemplazado a materiales como los termoplásticos de alta resistencia, madera, [acero](#) al carbón, vidrio y acrílico, lámina, [cemento](#), yeso, etc.

Las [industrias](#) que más la utilizan son la automotriz, marina y la construcción. Las resinas de poliéster saturado se usan en las lacas para barcos, en pinturas para aviones y en las suelas de zapatos.

Homopolímeros y copolímeros

Los materiales como el polietileno, el PVC, el polipropileno, y otros que contienen una sola unidad estructural, se llaman homopolímeros. Los homopolímeros, a demás, contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones.

Por otro lado los copolímeros contienen varias unidades estructurales, como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno.

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que cada monómero imparta una de sus propiedades al material final; así, por ejemplo, en el ABS, el acrilonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación particular.

Evidentemente al variar la proporciones de los monómeros, las propiedades de los copolímeros van variando también, de manera que el [proceso](#) de copolimerización permite hasta cierto punto fabricar polímeros a la medida.

No solo cambian las propiedades al variar las proporciones de los monómeros, sino también al variar su posición dentro de las cadenas. Así, existen los siguientes tipos de copolímeros.

Las [mezclas](#) físicas de polímeros, que no llevan uniones permanentes entre ellos, también constituyen a la enorme versatilidad de los materiales poliméricos. Son el equivalente a las [aleaciones](#) metálicas.

En ocasiones se mezclan para mejorar alguna [propiedad](#), aunque generalmente a expensas de otra. Por ejemplo, el óxido de polifenilo tiene excelente resistencia térmica pero es muy difícil procesarlo.

El poliestireno tiene justamente las propiedades contrarias, de manera que al mezclarlos se gana en facilidad de [procedimiento](#), aunque resulte un material que no resistirá temperaturas muy altas.. Sin embargo en este caso hay un efecto sinérgico, en el sentido en que la resistencia mecánica es mejor en algunos aspectos que a la de cualquiera de los dos polímeros. Esto no es frecuente, porque puede ocurrir únicamente cuando existe perfecta compatibilidad ente los dos polímeros y por regla general no la hay, así que en la mayoría de los casos debe agregarse un tercer ingrediente para compatibilizar la mezcla.

Lo que se emplea casi siempre es un copolímero injertado, o uno de bloque que contenga unidades estructurales de los dos polímeros. Otras veces se mezcla simplemente para reducir el [costo](#) de material.

En otros casos, pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad puede mejorar la del otro, al grado de permitir una nueva aplicación.

Copolímeros estireno-butadieno

Son plásticos sintéticos que han sustituido prácticamente en su totalidad al natural, en algunas aplicaciones como las llantas para automóviles; contienen 25 % de estireno y 75 % butadieno; sus aplicaciones incluyen en orden de importancia:

- Llantas, Espumas,
- Empaques, Suelas para zapatos,
- Aislamiento de alambres y cables eléctricos,
- Mangueras.

Los copolímeros de estireno-butadieno con mayor contenido de batadieno, se usan para hacer pinturas y recubrimientos.

Para mejorar la adhesividad, en ocasiones se incorpora el ácido acrílico o los ésteres acrílicos, que elevan la polaridad de los copolímeros.

Polímeros isómeros

Los polímeros isómeros son polímeros que tienen esencialmente la misma composición de porcentaje, pero difieren en la colocación de los átomos o grupos de átomos en las moléculas.

Los polímeros isómeros del tipo vinilo pueden diferenciarse en las orientaciones relativas de los segmentos consecutivos (Monómeros).

Los Lubricantes y los Polímeros

Los lubricantes mejoran la procesabilidad de los polímeros, realizando varias importantes [funciones](#).

- Reducen la fricción entre las partículas del material, minimizando el calentamiento por fricción y retrasando la [fusión](#) hasta el punto óptimo.
- Reducen la [viscosidad](#) del fundido promoviendo el buen flujo del material.
- Evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento.

A los lubricantes se los clasifican en:

- **Externos:** Reducen la fricción entre las moléculas del polímero y disminuyen la adherencia polímero metal.
- **Ceras parafínicas:** con pesos moleculares entre 300 y 1500, y temperaturas de fusión entre 65 a 75 °C. Las lineales son más rígidas, por su mayor cristalinidad. En las ramificadas, la cristalinidad es menor y los cristales más pequeños.

- **Ceras de polietileno:** son polietilenos de muy bajo peso molecular, ligeramente ramificadas, con temperaturas de fusión de 100 a 130 °C. Son más efectivas que las parafinas.
- **Ceras tipo éster:** obtenidos de cebos. Contienen ácidos grasos con 16 a 18 átomos de [carbono](#). El más importante es el triesterato.

Procesos de polimerización

Existen diversos [procesos](#) para unir moléculas pequeñas con otras para formar moléculas grandes. Su clasificación se basa en el mecanismo por el cual se unen [estructuras](#) monómeras o en las condiciones experimentales de reacción.

Mecanismos de polimerización. La polimerización puede efectuarse por distintos [métodos](#) a saber:

Polimerización por adición.

- Adición de moléculas pequeñas de un mismo tipo unas a otras por apertura del doble enlace sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización de tipo vinilo.).
- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura de un anillo sin eliminación de ninguna parte de la molécula (polimerización tipo epóxi.).
- Adición de pequeñas moléculas de un mismo tipo unas a otras por apertura de un doble enlace con eliminación de una parte de la molécula (polimerización alifática del tipo diazo.).
- Adición de pequeñas moléculas unas a otras por ruptura del anillo con eliminación de una parte de la molécula (polimerización del tipo a - aminocarboxianhidro.).
- Adición de birradicales formados por deshidrogenación (polimerización tipo p-xileno.).

Polimerización por condensación.

- Formación de poliésteres, poliamidas, poliéteres, polianhidros, etc., por eliminación de [agua](#) o [alcoholes](#), con moléculas bifuncionales, como ácidos o glicoles, diaminas, diésteres entre otros (polimerización del tipo poliésteres y poliamidas.).
- Formación de polihidrocarburos, por eliminación de halógenos o haluros de hidrógeno, con ayuda de catalizadores metálicos o de haluros metálicos (policondensación del tipo de Friedel-Crafts y Ullmann.).

Polimerización en suspensión, emulsión y masa.

Polimerización en suspensión En este caso el peróxido es soluble en el monómero. La polimerización se realiza en agua, y como el monómero y polímero que se obtiene de él son insolubles en agua, se obtiene una suspensión. Para evitar que el polímero se aglomere en el reactor, se disuelve en [el agua](#) una pequeña cantidad de [alcohol](#) polivinílico, el cual cubre la superficie de las gotitas del polímero y evita que se peguen.

Polimerización en emulsión La reacción se realiza también en agua, con peróxidos solubles en agua pero en lugar de agregarle un agente de suspensión como el alcohol polivinílico, se añade un emulsificante, que puede ser un detergente o un jabón.

En esas condiciones el monómero se emulsifica, es decir, forma gotitas de un tamaño tan pequeño que ni con un [microscopio](#) pueden ser vistas.

Estas microgotitas quedan estabilizadas por el jabón durante todo el [proceso](#) de la polimerización, y acaban formando un látex de aspecto lechoso, del cual se hace precipitar el polímero rompiendo la emulsión. posteriormente se lava, quedando siempre restos de jabón, lo que le imprime [características](#) especiales de adsorción de aditivos.

Polimerización en masa En este tipo de reacción, los únicos ingredientes son el monómero y el peróxido. El polímero que se obtiene es muy semejante al de suspensión, pero es más puro que éste y tiene algunas ventajas en la adsorción de aditivos porque no está contaminado con alcohol polivinílico.

Polímeros de Bloque e Injertos Se han desarrollado nuevos [métodos](#) interesantes para la [síntesis](#) de copolímeros de bloque e injertos. Estos métodos han encontrado aplicación práctica en la preparación de poliestireno de alta resistencia al impacto, de los cauchos de elevada resistencia a la abrasión y de fibras acrílicas.

Un principio de la copolimerización por injertos consiste en polimerizar un monómero, el monómero-B, en presencia de un polímero, el poli-A, de manera tal que los centros iniciadores de las reacciones de la segunda polimerización estén situados todos en el polímero original.

Una forma particularmente efectiva de conseguir este resultado es someter el poli-A a la degradación mecánica en presencia del mono-B.

Si las cadenas del polímero se rompen por la acción mecánica, se forman dos radicales libres en el punto de ruptura de la cadena. Estos dos radicales pueden utilizarse si se evita que se recombinen o desproporcionen uno con el otro o que sean consumidos por alguna otra impureza reactiva, como el [oxígeno](#) y en presencia de un monómero vinílico.

Muchos tipos de agitación mecánica, particularmente el prensado en calandria, la molienda, la compresión en [estado plástico](#) y la agitación y sacudimiento en solución, conducen a la unión química del segundo monómero y el primer polímero. Para que la degradación mecánica sea efectiva, conviene que el poli-A tenga un peso molecular relativamente alto. Se han hecho grandes progresos en la injertación del estireno, ésteres acrílicos y acrilonitrilo al caucho y a muchos

elastómeros sintéticos; los monómeros vinílicos también se ha injertado a la celulosa y derivados de esta, poliésteres, poliamidas, poliéteres y [proteínas](#). Los productos resultantes combinan en forma muy interesante las propiedades de los dos compuestos.

Los trabajos sobre la [radiación](#) de injertos han progresado considerablemente, sobre todo mediante el [empleo](#) de mejores [fuentes](#) de [radiación](#) penetrante (aparato de Van der Graff, acelerador lineal, Co^{60} y Cs^{137}) y por el descubrimiento de que la [luz](#) ultravioleta es capaz también de producir enlaces transversales e injertos en presencia de sensibilizadores. En muchos casos se ha reducido substancialmente la degradación indeseable del poli-A producida por la acción de la radiación y penetrante, mediante la aplicación de estabilizadores del tipo amina aromática disulfuro aromático.

Pueden obtenerse injertos muy efectivos de todos los tipos de polímeros vinílicos si la cadena del poli-A lleva un grupo amino aromático primario.

La nitrosamina puede isomerizarse al diazoester, este a su vez, se disocia con desprendimiento de hidrógeno y produce un radical libre que se fija químicamente a la cadena:

El radical acilo se transfiere rápidamente con los átomos de hidrógeno disponibles y no inicia la polimerización del mono-B. Por este [método](#) se ha efectuado un injerto de monómeros vinílicos sobre el poliestireno parcialmente aminado.

Una nueva forma de preparar los copolímeros de bloque se basa en la protección de la cadena que crece por propagación aniónica contra la terminación por solvatación del extremo de la cadena por el disolvente. Si el

sodio se hace reaccionar a baja [temperatura](#) en tetrahidrofurano con naftaleno, se transfiere un electrón del sodio al [sistema](#) aromático:

La solución resultante es verde y muy sensible al [oxígeno](#). Si se le agrega estireno, el [color](#) cambia a rojo debido a que el electrón solitario se transfiere al monómero estireno, que se dimeriza inmediatamente para formar un bis-anión conforme a la siguiente reacción:

Las cargas negativas están compensadas por dos iones de sodio, pero permanecen disociadas porque están fuertemente solvatadas por el tetrahidrofurano. Las cargas negativas del bis-ión son capaces de iniciar la polimerización del estireno, y a cada lado del centro iniciador crece una cadena hasta que es consumido todo el monómero, puesto que la solvatación por el disolvente evita la terminación (polímeros vivientes). Después de consumido el monoestireno puede agregarse otro monómero, y como la polimerización continua, se forman copolímeros de bloque cuya composición y peso molecular pueden regularse fácilmente por la adición de los componentes y por la terminación del crecimiento posterior de la cadena con oxígeno u otro interruptor de la etapa.

Temperatura de transición vítrea

A temperaturas altas, los polímeros se vuelven líquidos muy viscosos en los que las cadenas están constantemente en [movimiento](#) cambiando su forma y deslizándose unas sobre las otras.

A temperaturas muy bajas, el mismo polímero se vuelve un sólido duro, rígido y frágil.

El polímero puede solidificarse formando un sólido amorfo o uno cristalino. Como se sabe los polímeros con fuertes irregularidades en su estructura tienden a formar sólidos amorfos y los polímeros con cadenas muy simétricas tienden a cristalizar, por lo menos parcialmente.

La línea ABCD corresponde a un polímero completamente amorfo. A temperaturas altas está en forma de un líquido viscoso, y al enfriarlo, se vuelve cada vez más elástico hasta que llega a la temperatura de transición vítrea, T_g , se convierte en un sólido duro, rígido y frágil. Lo que sucede es que, conforme disminuye la temperatura, el polímero se contrae porque las cadenas se mueven menos y se atraen más.

Dado que va disminuyendo el [volumen](#) libre, es decir, los espacios entre las moléculas, los segmentos de las cadenas tienen cada vez menos lugar para girar, hasta que al llegar a T_g , dejan de hacerlo, el material se pone rígido y en esas condiciones se vuelve vítreo, es decir frágil, porque como sus cadenas aunque todavía vibran ya no pueden girar para cambiar su posición, y no tienen manera de amortiguar los impactos. A esta restricción del [movimiento](#) molecular también contribuye por supuesto, la falta de suficiente energía debida a las bajas temperaturas.

Evidentemente, [el estado](#) vítreo lo alcanzan diferentes polímeros a diferentes temperaturas. Los que sean más flexibles, con menos grupos voluminosos o con eteroátomos en sus cadenas, podrán girar o permanecer flexibles a temperaturas menores que los otros. Por ejemplo, los silicones, el polietileno y el hule natural tienen temperaturas de transición vítrea de -123 , -120 y -73 °C respectivamente. En [cambio](#), polímeros con grupos grandes o grupos muy polares o polarizables, tienen de por sí tan baja movilidad que son vítreos a temperatura [ambiente](#) y para reblandecerlos se requiere de altas temperaturas.

La línea ABEI se refiere al polímero semicristalino. En este caso existen dos transiciones: una, cuando cristaliza el polímero al enfriarlo (T_m) y la otra cuando el material elástico resultante se vuelve vítreo (T_g).

Entre T_m y T_g , los cristalitas están embebidos en una [matriz](#) más o menos elástica y el material es correoso, pero abajo de T_g los cristales están dispersos en una [matriz](#) frágil.

Las propiedades mecánicas de los polímeros también cambian con la temperatura y en la gráfica del módulo de [elasticidad](#) con la temperatura se aprecian las mismas transiciones.

Abajo de T_g , el material es un sólido vítreo de gran rigidez, que se manifiesta por altos módulos que generalmente alcanzan los 10^6 psi. la única deformación posible se debe al estiramiento y doblamiento de los enlaces covalentes que unen a los átomos en la cadena, y al estiramiento de los enlaces intermoleculares. esta deformación no es permanente ni puede ser muy pronunciada.

A temperaturas superiores a T_g , la deformación es más extensa y más dependiente del [tiempo](#), porque las moléculas ya tienen mayor [libertad](#) y cambian continuamente su forma y hasta cierto punto su posición. La aplicación del esfuerzo tiende a orientar a las moléculas en favor de configuraciones que tiendan a hacer trabajo. Por ejemplo, un esfuerzo de tensión extiende a las moléculas y las orienta en la [dirección](#) del esfuerzo aplicado porque así se produce una elongación de la [muestra](#).

Si la temperatura es mayor, pero muy cercana a T_g , la deformación es prácticamente reversible y se debe al reordenamiento de segmentos cortos de las cadenas.

Entre T_g y T_m , el material es [plástico](#) porque las cadenas están enmarañadas y eso dificulta su movimiento.

A temperaturas cercanas a T_m y mayores, las cadenas poliméricas ya se deslizan y separan causando flujo viscoso irreversible. El material se comporta como un líquido muy viscoso.

Un polímero parcialmente cristalino, generalmente tiene mayor resistencia mecánica que el mismo material con estructura amorfa. La mayor resistencia o mayor módulo se debe al gran número y espaciamiento regular de los espacios intermoleculares en las estructuras cristalinas. En los polímeros amorfos, el número de estas interacciones es menos y su espaciamiento es errático, así que al aplicarles esfuerzos, muchas secciones del polímero se extienden o deforman libremente.

Propiedades Mecánicas

Resistencia

La resistencia es una [propiedad](#) mecánica que usted podría relacionar acertadamente, pero no sabría con exactitud qué es lo que queremos significar con la palabra "resistencia" cuando hablamos de polímeros. En primer lugar, existen varios tipos de resistencia. Está la resistencia ténsil. La resistencia ténsil es importante para un material que va a ser extendido o va a estar bajo tensión. Las [fibras](#) necesitan tener buena resistencia ténsil.

Luego está la resistencia a la compresión. El [concreto](#) es un ejemplo de material con buena resistencia a la compresión. Cualquier cosa que deba soportar un peso encima, debe poseer buena resistencia a la compresión.

También está la resistencia a la flexión. Existen otras clases de resistencia de las que podríamos hablar. Un polímero tiene resistencia a la torsión si es resistente cuando es puesto bajo torsión. También está la resistencia al impacto. Una [muestra](#) tiene resistencia al impacto si es fuerte cuando se la golpea agudamente de repente, como con un martillo.

$$\frac{F}{A} = \text{stress} \quad (2.1)$$

Pero qué significa ser resistente Tenemos una definición bien precisa. Emplearemos la resistencia ténsil para ilustrarlo. Para medir la resistencia ténsil de una muestra polimérica, tomamos la muestra y tratamos de estirla tal como se muestra en la figura de arriba.

Generalmente la estiramos con una máquina llamada Instron. Esta máquina simplemente sujeta cada extremo de la muestra y luego procede a estirla. Mientras dura el estiramiento de la muestra, va midiendo la [fuerza](#) (F) que está ejerciendo. Cuando conocemos la [fuerza](#) que se está ejerciendo sobre la muestra, dividimos ese número por el área (A) de la muestra. El resultado es la tensión que está experimentando la muestra.

Luego, usando nuestra máquina, seguimos incrementando la fuerza, y obviamente la tensión, sobre la muestra hasta que ésta se rompe. La tensión requerida para romper la muestra representa la resistencia ténsil del material.

Asimismo, podemos imaginar [ensayos](#) similares para medir la resistencia a la compresión o a la flexión. En todos los casos, la resistencia es la tensión necesaria para romper la muestra.

Puesto que la resistencia ténsil es la fuerza aplicada sobre la muestra dividida por el área de la misma, tanto la tensión como la resistencia ténsil se miden en unidades de fuerza por unidad de área, generalmente N/cm². La tensión y la resistencia también pueden ser medidas en megapascales (MPa) o gigapascales (GPa). Resulta sencilla la conversión entre diferentes unidades, ya que 1 MPa = 100 N/cm², 1 GPa = 100.000 N/cm², y obviamente, 1 GPa = 1.000 MPa. Otras veces, la tensión y la resistencia se miden en las viejas unidades del

[sistema inglés](#), libras por pulgada cuadrada, o psi. Para convertir psi a N/cm^2 , el factor de conversión es $1 \text{ N/cm}^2 = 1.45 \text{ psi}$.

Elongación

Pero las propiedades mecánicas de un polímero no se remiten exclusivamente a conocer cuán resistente es. La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo. Pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el [comportamiento](#) de elongación de la muestra polimérica. La elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el [cambio](#) en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga. Obviamente llamamos a esto elongación.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongation} \quad (2.2)$$

Por lo general, hablamos de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento (L), dividido por el largo original (L_0), y multiplicado por 100.

Existen muchas cosas relacionadas con la elongación, que dependen del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirársela, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. Esto es importante si

el material es un [elastómero](#). Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante y luego recuperar su longitud original. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original son inconvenientes.

Combinando Cualidades

Uno puede sacrificar la resistencia en favor de la dureza, por ejemplo. Pero a veces podemos combinar dos polímeros con diferentes propiedades para obtener un nuevo material con las propiedades de ambos por separado. Existen tres formas de hacer esto, que son la [copolimerización](#), el [mezclado](#), y la obtención de [compósitos](#).

El [Spandex](#) es un ejemplo de un copolímero que combina las propiedades de dos materiales. Es un copolímero que contiene bloques de polioxietileno elastómero y bloques de un [poliuretano](#), precursor de fibras rígidas. El resultado es una fibra que se estira. El Spandex es empleado para la confección de ropa de [gimnasia](#), como los pantalones para ciclismo.

El [polietileno de alto-impacto](#), es una [mezcla](#) que combina las propiedades de dos polímeros, el [etileno](#) y el polibutadieno. El polietileno es un [plástico](#) rígido. Cuando se lo agrega a un [elastómero](#), como el polibutadieno, forma una mezcla de fases separadas, que tiene la resistencia del polietileno y la dureza aportada por el polibutadieno. Por esta razón es mucho menos quebradizo que el polietileno puro.

En el caso de un material compuesto, generalmente empleamos una [fibra](#) para reforzar un termorrígido. Los termorrígidos son materiales entrecruzados cuyo comportamiento tensión-estiramiento es a menudo similar al de los plásticos. La

fibra incrementa la resistencia ténsil del compuesto, en tanto que el termorrígido le confiere dureza y resistencia a la compresión.

La Cristalización de Polímeros

La [velocidad](#) de cristalización de los polímeros depende de factores cinético que afectan la capacidad de los segmentos de cadena, para acomodarse en sus posiciones dentro de la [red](#) cristalina. Esos factores son:

1. Flexibilidad de las moléculas.

Para que un polímero cristalice, sus moléculas deben tener suficiente [elasticidad](#), es decir, la movilidad necesaria para colocarse en posiciones precisas durante el proceso de cristalización. Uno de los polímeros con cadenas más flexibles es el polietileno, cuyos segmentos giran fácilmente y eso explica la gran tendencia a cristalizar.

Para apreciar ésto, usaremos una proyección en la que imaginamos ver un segmento de dos carbonos, a lo largo del eje mayor de la cadena. Cuando los átomos de carbono giran, llegan a quedar eclipsados y en esa posición, la repulsión entre ellos es máxima.

Cuanto mayor es el tamaño de los átomos o grupos químicos y mayor es su polaridad, más fuerte es la repulsión, más se dificulta el giro y menos flexible es la molécula.

En el polietileno todos los sustituyentes son átomos de hidrógenos y aunque desde luego se repelen, su tamaño es pequeño y las moléculas de polietileno son bastante flexibles, lo cual le permite cristalizar con facilidad, especialmente cuando no tienen ramificaciones, como en el caso del polietileno d alta densidad.

En cambio, en el policloruro de vinilo, uno de los sustituyentes es cloro, [átomo](#) de gran tamaño y alta polaridad. La resistencia al giro de los segmentos es muy grande, y el PVC es un polímero rígido con grado de cristalinidad que rara vez sobrepasa el 20%.

Estructuras químicas que influyen sobre las cadenas poliméricas.

Enlaces dobles.

Los enlaces unidos por la doble ligadura no pueden girar, pero en cambio los segmentos de cadena que le siguen gozan de gran movilidad, precisamente porque los carbonos del doble enlace tienen un sustituyente menos, que si se trata de enlaces sencillos.

Grupos aromáticos.

Los anillo bencénicos producen rigidez en las moléculas y a veces evitan la cristalización y en otros casos la reducen. El polietileno atáctico, por ejemplo es completamente amorfo. Esto no necesariamente es un defecto. Cuando se desea transparencia en un polímero, se selecciona uno amorfo, y el poliestireno tiene precisamente esta cualidad. Las cualidades de alta polaridad y alta cristalinidad son esenciales para que un polímero forme buenas fibras. Sólo así tendrá la resistencia ténsil que se requiere.

Grupos alquilos.

Los grupos metílicos del propileno, estorban mucho para el giro de los segmentos y obligan a la molécula a tomar una forma helicoidal, en la que se minimizan las interacciones de estos grupos metilos con otros átomos de la molécula de polipropileno. La consecuencia es una densidad muy baja (0,91) por el espacio libre que queda dentro de la hélice.

Si los grupos alquílicos son de mayor tamaño, las moléculas adyacentes se separan, dejando entre ellas mayor [volumen](#) libre y los polímeros se vuelven más flexibles, con menor temperatura de fusión y bajas densidades.

Pero cuando esas cadenas laterales alcanzan longitudes considerables, con 10 a 12 átomos de carbono, y no tienen ramificaciones, vuelve a ser posible la cristalización por el ordenamiento de esas cadenas, ya sea dentro de la propia molécula o entre moléculas adyacentes.

2. Condiciones de la recristalización.

El efecto de la temperatura sobre la cristalización de los polímeros es conflictivo. Por una parte, se requieren temperaturas altas para impartir a las moléculas poliméricas suficiente energía cinética (movilidad) y que puedan acomodarse en la red cristalina. Pero sólo a bajas temperaturas van a permanecer en forma estable en los cristales.

El balance entre esas dos condiciones produce una [velocidad](#) máxima de cristalización a una temperatura intermedia.

Factores que determinan el grado de cristalinidad

Influencia de la cristalinidad sobre las propiedades.

Existen dos factores estructurales que favorecen la cristalización en los polímeros.

- La regularidad de la estructura molecular hace posible que las moléculas se acomoden en [una red](#) cristalina.
- La polaridad de las moléculas aumenta la atracción entre cadenas adyacentes y, en consecuencia, la atracción que tiende a colocarlas ordenadamente en el cristal y mantenerlas firmemente en él.

1) Regularidad estructural.

a) **Simetría**: la presencia de anillos de fenileno en una cadena puede dar origen a tres distintas estructuras.

De ellas, la primera es la de mayor simetría y representa un polímero más cristalino que los otros.

b) **Número par vs. Número de átomos de carbono entre grupos funcionales:**

en el caso de las poliamidas y de los poliésteres, cristalizan mejor los materiales con número par de carbonos entre grupo amídicos o grupos éster respectivamente y cuanto mayor es la cristalinidad, más alto es el punto de fusión. Cuando el número es par, las cadenas son asimétricas

c) **Tacticidad:** los polímeros isotácticos y los sindiotácticos tienen regularidad estructural y son cristalinos, mientras que los atácticos son amorfos. Los polímeros isotácticos y los sindiotácticos tienen mayor cristalinidad, mayor resistencia mecánica, mayor densidad, más alta temperatura de fusión, son más resistentes a la acción de los disolventes, y poseen menor transparencia, en comparación con los mismos materiales en la variedad atáctica.

d) **Configuración CIS vs. TRANS:** existen dos tipos de hule natural que provienen del isopreno. La primera se llama configuración CIS y así es el hule de la hevea y el de Guayule que se caracterizan por su flexibilidad y su elasticidad, la cual deben en parte a su estructura CIS, que es irregular y les impide cristalizar.

En cambio, la configuración TRANS, con gran regularidad estructural, está presente en el hule de gutapercha, que es cristalino, mucho menos elástico, con alta adherencia, por lo que se lo emplea como cubierta de pelotas de golf.

e) **Ramificaciones:** El ejemplo más claro de las ramificaciones sobre el grado de cristalinidad es el polietileno. Estas ramificaciones dificultan la aproximación de las cadenas y su colocación ordenada, disminuyendo el grado de cristalinidad, dejando grandes espacios entre las cadenas y por ello el material

tiene mayor densidad. Por lo mismo, las fuerzas de atracción entre cadenas adyacentes no pueden actuar plenamente y, al ser menor la fuerza de cohesión, el calor separa con mayor facilidad las cadenas y el polímero se reblandece a menor temperatura, tiene menor rigidez, mejor resistencia al impacto y mayor transparencia y flexibilidad que el de alta densidad.

f) **El peso molecular:** Los grupos químicos que se encuentran en los extremos de las cadenas, no son iguales que el resto de las unidades estructurales y le restan regularidad a la estructura. También tienen mayor movilidad, puesto que están unidos a la cadena de un solo lado. Estos dos factores interfieren en la cristalización. Como los polímeros de bajo peso molecular tienen una alta concentración de extremos, también tienen, en general, una baja cristalinidad. Por otra parte, los polímeros de muy alto peso molecular tienen dificultad para cristalizar, debido a que las cadenas muy largas se enmarañan más.

La consecuencia de todo esto es que para cada polímero, hay un intervalo intermedio de pesos moleculares en que el grado de cristalinidad es máxima.

g) **Copolimerización:** La copolimerización por lo general destruye la regularidad estructural y baja el grado de cristalinidad a lo menos de que se trate de copolímeros alternados.

La copolimerización se usa industrialmente para reducir la temperatura de fusión de poliésteres y poliamidas que se usan en adhesivos de fusión en caliente (hot melts.).

Otro caso es el de cloruro de vinilo $\frac{3}{4}$ acetato de vinilo, un copolímero mucho más flexible que el PVC, y que se emplea para hacer discos fonográficos.

h) **Plastificantes:** Los plastificantes son sustancias que se agregan a los polímeros para impartirles mayor flexibilidad. Si se incorpora un plastificante a un polímero cristalino, se reduce la cristalinidad, se vuelve más flexible y se reblandece a menor temperatura.

Polaridad

Ya hemos visto que se requiere regularidad estructural para que haya cristalinidad en los polímeros. Además si las fuerzas polares entre átomos y grupos químicos en moléculas adyacentes son suficientemente altas, las fuerzas que favorecen la ordenación serán mayores y los cristales retendrán su [identidad](#) a mayores temperaturas.

En consecuencia, la temperatura de fusión está relacionada con la polaridad de los polímeros.

La solubilidad de los polímeros, es decir, su interacción con disolventes de varios tipos, es la forma más común de evaluar la polaridad de las moléculas poliméricas. La densidad de energía cohesiva (DEC) de los líquidos depende de la magnitud de las fuerzas de atracción intermoleculares, que se oponen a la vaporización.

En el caso de los polímeros, la densidad de energía cohesiva se mide indirectamente, puesto que no se les puede vaporizar. Se aprovecha la circunstancia de que los líquidos sólo disuelven sustancias con polaridad muy similar a la de ellos. La raíz cuadrada de la densidad de energía cohesiva, es el parámetro de solubilidad d :

Este parámetro expresa la afinidad entre las sustancias y solamente hay solubilización si las d de ellas tienen [valores](#) que no difieren más de una o dos unidades. Un [valor](#) alto del parámetro de solubilidad indica una alta polaridad.

Todos los materiales sólidos pueden clasificarse de acuerdo a su estructura molecular en **cristalinos y amorfos**.

En los **sólidos cristalinos**, las moléculas se encuentran ordenadas en las tres dimensiones. Esto es lo que se llama ordenamiento [periódico](#) y lo pueden tener los sólidos cristalinos constituidos por moléculas pequeñas.

En el caso de los polímeros, las cadenas son muy largas y fácilmente se enmarañan y a demás, en [el estado](#) fundido se mueven en un medio muy viscoso, así que no puede esperarse en ellos un orden tan perfecto, pero de todas maneras, algunos polímeros exhiben ordenamiento parcial en regiones llamadas cristalitos.

Se distinguen regiones de dos clases: las cristalinas, en la que las cadenas dobladas varias veces en zigzag están alineadas formando las agrupaciones llamadas cristalitos; y otras regiones amorfas, en la que las cadenas se enmarañan en un completo desorden.

La proporción o porcentaje de zonas cristalinas puede ser muy alta, como en el olietileno, en el nylon y en la celulosa. En esos casos puede considerarse que el material contiene una sola fase, que es cristalina, aunque con muchos defectos. En el PVC, el grado de cristalinidad es mucho menor.

El grado de cristalinidad de los polímeros, que por su estructura regular y por la flexibilidad de sus cadenas tienen mayor tendencia a cristalizar, depende de las condiciones de la cristalización. Si el polímero cristaliza a partir del material fundido, habrá más imperfecciones porque las cadenas se enredan y el medio es muy viscoso, lo cual dificulta el ordenamiento de ellas.

En cambio, si el polímero cristaliza de una solución diluída, es posible obtener cristales aislados, con estructuras bien definidas como en el caso del polietileno, de donde se distinguen las llamadas lamelas formada por cadenas dobladas muchas veces sobre sí mismas.

Un enfriamiento muy rápido puede reducir considerablemente el grado de cristalinidad. Los cristalitos también pueden agruparse de otras maneras, generando fibrillas; la formación de fibrillas en lugar de esferulitos, dependerá de factores tales como la flexibilidad de la cadena y las interacciones entre ellas, el

peso molecular del polímero, la velocidad del enfriamiento y en muchos casos del tipo de esfuerzo del cual se somete al material durante el procesamiento.

Los cristales fibrilares pueden producirse en los [procesos](#) de inyección o de extrucción, o durante el proceso de estirado de algunos materiales que se emplean en la industria textil (nylon y poliéster).

CAPITULO 3

PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

3.1. PLAN DE PRUEBAS

Los planes de pruebas se basan en los procedimientos indicados por la norma INEN para así llegar a una correcta y total evaluación de todas las características adquiridas por los materiales que han sido sometidos a tratamientos adicionales.

Con esto se puede determinar los diferentes usos y aplicaciones de todas y cada una de las piezas.

Todas las pruebas se detallan a continuación.

3.1.1 PRUEBAS DE TIEMPO DEL PROCESO

A medida que se incrementa el tiempo de inmersión, el espesor del recubrimiento también se incrementa, pero se llega al punto en el que tiende a estabilizarse este espesor de recubrimiento, por que no es conveniente tener

mucho inmerso en el baño la pieza, solo contribuye a generar gastos innecesarios de luz, material, tiempo, etc.

Caso contrario a tiempos muy cortos de inmersión se produce una capa muy delgada de recubrimiento con lo que las características deseadas no se cumplan en un 100%.

3.1.2 PRUEBAS DE ESPESORES DE RECUBRIMIENTO DEL PROCESO

Luego de realizadas algunas mediciones de espesores de recubrimiento se evidencia otro hecho muy importante y este es que, si se llega a sumergir la pieza a tiempos mayores de 20 minutos, la adherencia del recubrimiento ya no es muy significativamente mayor que la obtenida hasta un tiempo normal indicado; para este caso solo se llegaría a obtener un acabado superficial deficiente (rugoso, adherencia no muy regular, etc)

Otros métodos utilizados para medir los espesores de recubrimiento son:

- Método del goteo

El instrumental necesario para esta práctica son: bureta, termómetro de precisión 0 a 50 C, cronómetro.

El reactivo necesario es el ácido clorhídrico, densidad 1.18 gr/ml, a 20 C y una normalidad de 11.5 N.

Este ensayo debe efectuarse sobre un mínimo de tres puntos diferentes, los cuales deben estar predeterminados sobre la superficie significativa del artículo ensayado, en sitios en los cuales se espera espesores mínimos.

Los puntos elegidos deben estar libres de grasa, lo que se removera frotando la pieza con algodón humedecido en oxido de magnesio. Lavar luego en agua corriente y secar con un paño limpio.

Rodear el area de los puntos que deben ensayarse con parafina o lapiz de cera a un diámetro de aproximadamente 6 mm

Procedimiento

La bureta, la probeta y la solución deben estar a la misma temperatura, entre 16 y 25 C, las probetas delgadas deberán colocarse previamente sobre una base metálica gruesa, para evitar los rápidos cambios de temperatura, como consecuencia del calor de reacción.

Para determinar el tiempo de penetración (t), una gota de ácido se aplicara con la bureta sobre la pieza ensayada, dentro del anillo de cera. Registrar el momento en que se inicia la evolución de gas, y el tiempo que transcurre hasta que aparece la capa de níquel, mediante un cronometro. Redondear la medición a segundos enteros.

Si la reacción no se inicia inmediatamente después de colocada la gota de ácido, provocarla tocando la superficie en el lugar de ensayo, con un alambre de níquel. La finalización de la penetración del ácido se reconoce por el término de la evolución de gas, y la aparición de la superficie de níquel, que se presenta muy amarilla en relación con las áreas atacadas. El espesor (s) del recubrimiento de cromo en micras se calcula de la siguiente ecuación:

$$S = u * t \quad (3.1)$$

Donde (u) es la velocidad de disolución del recubrimiento de cromo (μ /seg) en función de la temperatura. Para el caso de depósitos dobles o múltiples de cromo, el valor (s) representa el espesor total de recubrimiento. Los datos necesarios se obtiene del cuadro que se muestra a continuación.

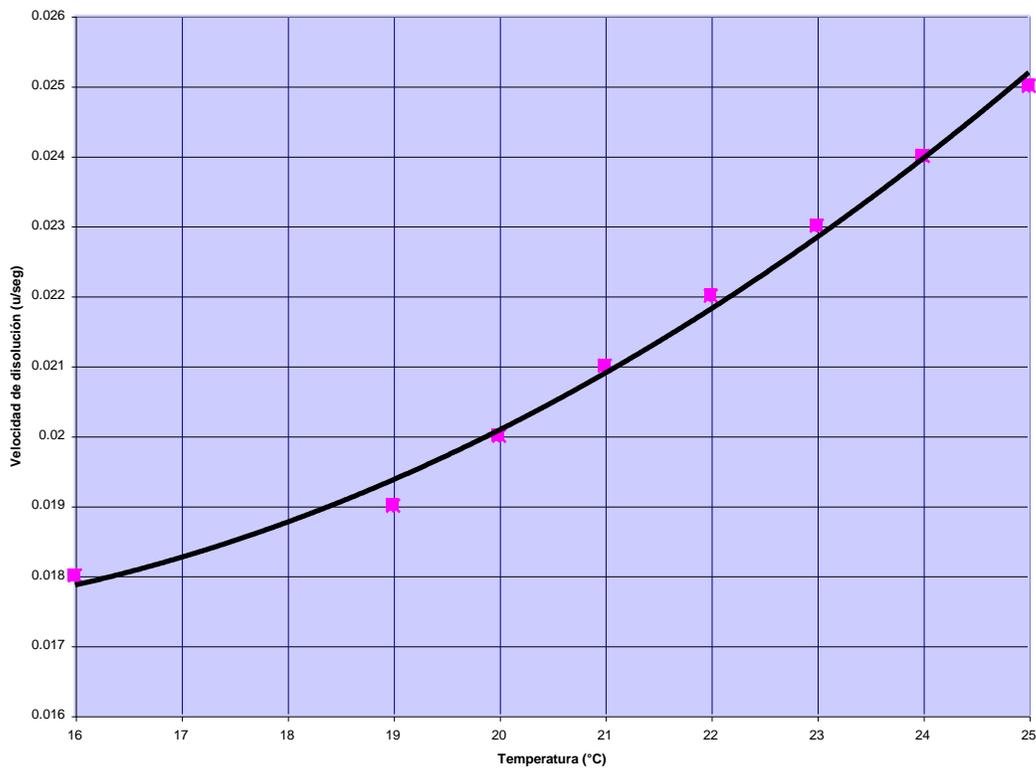


Figura 3.1. Velocidad de disolución vs. temperatura

- Metodo del doblado

Consiste en doblar o deformar de alguna forma la probeta. La aparición de escamaciones denota adherencia insuficiente.

Para tubos, el ensayo de doblado consiste en doblar en 90 grados, con radio de 8 veces mayor que el diámetro exterior del tubo. Este ensayo es aplicable hasta diámetros nominales de 50 mm; para diámetros mayores se deberá aplicar el ensayo del martillado.

Para el ensayo de doblado de placas y laminas, se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos.

El radio de los mandriles es de 4 mm. Se dobla la lamina 90 grados alternativamente sobre los dos mandriles por un numero de veces tal que desprendan la capa de recubrimiento de niquel.

3.1.3.PRUEBAS DE ACABADO SUPERFICIAL

3.1.3.1 ENSAYO DE PROYECCIÓN DE SAL

Esta prueba consiste en sumergir la pieza cromada en agua de mar por un periodo minimo de cinco dias. Para esto primeramente se pesa la probeta antes de iniciar el procedimiento, luego de determinado este procedimiento se realiza un decapado para retirar todo el oxido que se haya depositado sobre esta para luego volver a pesar la probeta.

Se mide la diferencia de pesos para saber cuanto se ha perdido en peso producido por el oxido.

DURACIÓN DEL ENSAYO (dias)	PROMEDIO DE PERDIDA DE PESO DE LA PROBETA (gr)
5	1
7	1.4
14	2.4
21	3.3
28	4.1

Tabla 3.1. Duración de los ensayos de sal

Si pierde mayor peso que los indicados, indica que la superficie tratada es muy porosa y que las sales del agua de mar llegaron hasta el material recubierto.

3.1.3.2. ENSAYO DE EXPOSICIÓN A LA INTERPERIE

Este metodo consiste en someter a la probeta a la accion de la interperie en areas de condiciones climáticas extremas, durante tiempos determinados.

Condiciones ambientales.- Las diversas condiciones ambientales se agrupan en ocho tipos diferentes según se muestra en la siguiente tabla.

Tipo	Descripción
1	Atmosfera rural: Generalmente sin contaminación
2	Atmosfera de ciudad: Contaminada con dióxido de azufre, hollín y polvos
3	Atmosfera Industrial: Parecida a la anterior pero conteniendo, ademas impurezas químicas dependiendo del lugar de servicio
4	Atmosfera marítima: Sin polvo, fuertemente salina, con humedad sobre el 90%
5	Atmosfera industrial o de ciudad con influencia de mar: Es como las dos primeras reforzadas por salinidad marina, alta humedad relativa y gotas de agua de mar.
6	Atmosfera tropical humeda: Con una humedad relativa mayor al 95% y temperatura ambiental mayor de 30 C
7	Atmosfera tropical marítima: Como la atmosfera tropical humeda pero reforzada por aire marítimo.

Tabla 3.2. Ensayo de exposición a la interperie

Condiciones climáticas: Las diversas condiciones climáticas se refieren a cuatro tipos que se definen acontinuacion:

A	Vientos – dirección dominante y velocidad
B	Lluvias – intensidad y frecuencia
C	Radiación solar directa – intensidad y frecuencia
D	Nieve

Tabla 3.3. Condiciones climáticas para ensayos a la interperie

3.1.3.3. PRUEBA DE BRILLO

El brillo es una impresión de naturaleza fisio-sicologica, y es, por lo tanto, difícil de evaluar objetivamente. Es por esta razón, que los métodos de ensayo para determinarlo no son del todo satisfactorios ni sus resultados reproducibles en un ciento por ciento.

El brillo además, depende de muchos factores tales como:

- El perfil micrométrico de la superficie
- La dirección de la fuente de luz
- La intensidad de la fuente de luz
- La subjetividad del observador

En virtud de lo anterior, este método de ensayo se basa exclusivamente en las propiedades rereflectivas de los metales.

Este método de ensayo consiste en observar visualmente, a ojo desnudo, la reflexión de escritura sobre la pieza tratada y evaluar la imagen reflejada en esta. Para lo anterior se requiere de una escritura de 5 mm de alto en papel blanco, escritura preferiblemente imprenta.

Se coloca el papel que contiene la escritura sobre una mesa plana. A una distancia de 4 o 5 mm de la escritura, asentamos la pieza en estudio, de modo que la superficie plana de la misma forme un ángulo de 90 grados con la superficie escrita. La distancia de observación es de aproximadamente 300 mm medida desde la superficie de la probeta, y 300 mm separados de la mesa.

Los grados de brillo se clasifican de acuerdo a la siguiente tabla, dependiendo de la legibilidad de los caracteres reflejados a diferentes distancias, al desplazar la probeta alejándola de la escritura.

No	GRADO DE BRILLO		CARACTERISTICAS
	Denominacion	Abreviatura	
1	Mate	Mt	Sin reflejo
2	Lustroso	P	Imagen reflejada legible a 5 mm
3	Brillante	B	Imagen reflejada legible a 100mm
4	Brillante Intenso	Bi	Imagen reflejada legible a 400mm huellas de rectificado pueden ser aun visibles
5	Brillante espectacular	Be	Imagen reflejada legible a 400mm huellas de mecanizado no son visibles.

Tabla 3.4. Grado de brillo

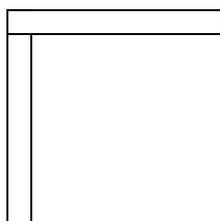
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1. CUALITATIVO

Angulos

Para el tratamiento de este perfil, se ha tomado dos posiciones principales para sumergirlas en los diferentes baños:

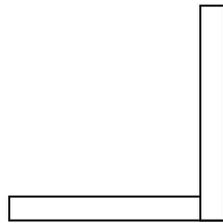
Posición 1 (incorrecta)



En esta posición no se ha podido lograr una adhesión del recubrimiento en toda la pieza y tampoco se logra un acabado superficial.

Este problema se debe a que bajo el ángulo formado se produce una acumulación de gases los que impiden que llegue hasta ese lugar el material de recubrimiento y provoca un acumulamiento de átomos del ánodo en diferentes partes.

Posición 2 (correcta)



Así se produce una mejor adhesión debido a que ya existe una mayor circulación de los átomos del ánodo.

También:

- De los resultados obtenidos luego de las prácticas se aprecia que en forma general la tendencia a la variación de espesores respecto a las medidas originales son muy pequeñas.
- Su variación en peso también es muy pequeña
- Requiere de 5 Amp y 5 voltios

Placas

- Por su forma presentan mucha mayor facilidad para realizar este tratamiento.
- Requiere de 5 Amp y 5 voltios
- Pequeñas variaciones de espesor y peso

- La posición dentro del baño es importante, se prefiere introducirla de forma vertical.
- Al unicarla verticalmente se tiene una mayor circulación del material a depositarse lo que permite una perfecta adherencia.

Tubos

- Con ellos se obtuvo mejores resultados de acabado y brillo, esto se debe principalmente a su forma que permite circulación perfecta de los átomos.
- Variaciones de espesores y pesos muy pequeños
- Requiere de 5 Amp y 5 voltios
- En el interior del tubo se tiene un menor espesor de recubrimiento, debido a que la superficie exterior es la que se va a exponer al ambiente.
- En caso de que se necesite igual o mayor espesor de recubrimiento en el interior se hace el procedimiento necesario para ello y este es con un ánodo cilíndrico dentro del tubo.

Eje

Siendo este uno de los perfiles que más necesita de fuente de poder ya que es macizo lo hace absorber mucha energía eléctrica, absorbe mucha más corriente que las formas anteriores.

3.2.2. CUANTITATIVO

Todas las pruebas realizadas dan resultados satisfactorios ya que se encuentran dentro de los parámetros de las Normas INEN.

El resultado final depende de parámetros como:

- ❖ Forma de la probeta
- ❖ Ubicación de la probeta dentro del electrolito.- se adhiere mayor cantidad de recubrimiento a las partes mas cercanas al anodo
- ❖ Intensidad de corriente.- Puede causar acabados rugosos o mates
- ❖ Temperatura del electrolito.- Facilita la conductividad.

De acuerdo a esto se obtiene los diferentes espesores de recubrimiento.

El requerimiento de los baños para este equipo al ser didáctico es de hasta 5 Amp y 12 voltios

CAPITULO 4

MANUAL DE PROCEDIMIENTO Y APLICACIONES DEL PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS

4.1. GUIA DE PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UNA PRACTICA DE LABORATORIO DEL PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS

HISTORIA DEL METALIZADO

En 1835, J. v. Liebig consiguió aplicar una capa metálica sobre no conductores. por reducción de soluciones de sales metálicas mediante aldehídos. El principio de este procedimiento se utiliza aún actualmente. En 1838 Jacobí se ocupó en investigaciones del recubrimiento con cobre.

En la mayor parte de los casos, la superficie de los no conductores se hacia conductora con cepillado con grafito finísimo. Sobre el mismo se precipitaba una película de cobre por reducción. y finalmente una capa metálica galvánica.

Ya en los primeros tiempos se intentó aplicar plata sobre no conductores, por reducción a partir de Soluciones.

Como agentes reductores se utilizan preferentemente hidracina y formaldehído. También en este procedimiento tiene lugar una previa sensibilización con solución de cloruro de estaño El dispositivo técnico consta de una cabina de proyección con aspiración y un compresor para el trasiego de las soluciones a través de la pistola. Pueden precipitarse capas de hasta 25 μm . En casos normales son suficientes de 2 a 4 μm . En muchos casos han dado buenos resultados las lacas conductoras para constituir una capa conductora sobre materiales dieléctricos. Tales lacas contienen finos granos de pigmentos conductores, como grafito, cobre y plata. Las lacas conductoras a base de plata han encontrado la mayor aplicación. Las lacas están constituidas de modo que los disolventes atacan la superficie del no conductor para conseguir una mayor adherencia. Las lacas conductoras se aplican por inmersión o pulverización.

Para el metalizado de plásticos existen cuatro procedimientos principales:

1. Procedimiento de proyección de plata.
2. Procedimiento de laca conductora.
3. Vaporización a alto vacío.
4. Pulverización catódica.

Los plásticos tienen por naturaleza diversas ventajas respecto a los metales.

1. El peso, por ejemplo, en comparación con la colada a presión de cinc alcanza solamente 1/6 aproximadamente.

2. La configuración es mucho más flexible gracias a la técnica de inyección y puede realizarse en un solo proceso de trabajo.
3. Los plásticos se ofrecen a costes relativamente bajos por unidad de volumen.

Como es lógico, la consecución de los valores mecánicos mejorados depende de un íntimo anclaje, del espesor y de las propiedades de las capas metálicas, determinándose:

1. Las propiedades mecánicas de un plástico determinado pueden mejorarse o modificarse a voluntad dentro de ciertos límites. Por ejemplo, las resistencias a la tracción, al choque y a la flexión aumentan considerablemente.
2. Mediante un revestimiento metálico galvanización puede disminuirse la absorción de humedad del agua o aire, de disolventes o aceite, así como la permeabilidad de líquidos y gases de todos los plásticos.
3. El envejecimiento natural de determinados plásticos (porejemplo, ABS) se reduce en forma notabilísima mediante superposiciones metálicas.
4. Los plásticos que tienden a contraer fácilmente o a deformarse por la acción del calor ganan en estabilidad dimensional gracias al metalizado.
5. La resistencia a la abrasión de las piezas puede llevarse hasta los valores del metal correspondiente, por medio de capas de aleación níquel-cobalto o níquel-cromo duro.
6. La estabilidad a los productos químicos y también a la corrosión mejora en comparación con los metales. Resultan de particular interés para la industria eléctrica efectos dieléctricos resultantes de la combinación de no conductor/conductor metálico.
7. La ductilidad disminuye. Los valores alcanzables son lógicamente los de las capas metálicas aplicadas. Las propiedades de la capa metálica dependen notablemente de las condiciones de la separación galvánica.
8. Se observa un notable descenso en la resistencia a la rotura, en dependencia con el aumento de la diferencia de tensiones entre el plástico y metal.

9. La estabilidad de forma al calor aumenta de forma notable. Gracias a ello pueden utilizarse muchas veces los plásticos galvanizados a temperaturas a las que podrían deteriorarse en estado no metalizado.

10. Mediante una superficie galvanizada puede evitarse la carga estática en los plásticos.

11. Las cajas de plástico adquieren con el galvanizado el carácter de cajas de Faraday y sirven para el blindaje eléctrico o magnético en la industria eléctrica. Acabados superficiales de plásticos y compuestos

12. La resistencia a la corrosión de la capa galvánica sobre plástico no conductor es superior a la del mismo revestimiento sobre material metálico, pues no se produce formación de elementos locales.

13. Las piezas de plástico galvanizadas son mucho más ligeras que las piezas metálicas de iguales dimensiones.

14. Las piezas de plástico galvanizadas aportan considerables ventajas desde el punto de vista técnico y económico, especialmente cuando la fabricación de las piezas metálicas exige diversos y costosos trabajos de elaboración mecánica, como por ejemplo torneado, fresado, taladrado, fileteado, biselado, soldado, rectificado, etc. La industria cuenta con tres destacadas propiedades del material combinado, para inclinarse hacia este nuevo material:

1. El reducido peso del plástico proporciona ahorros considerables en el transporte a grandes distancias.

2. Las corrosiones de la capa interior que son de temer al aplicar diversas capas metálicas sobre un metal base no son de esperar en las piezas de plástico.

3. Técnica de producción racional y menor trabajo de montaje.

METALIZADO QUÍMICO

Para poder galvanizar los plásticos es preciso crear un contacto eléctrico con el baño galvánico. Ello solamente es posible mediante una superficie metálica sobre el no conductor. La película metálica puede aplicarse sin corriente a partir de una solución de sales metálicas. Por ello, el empleo industrial de plásticos

galvanizados ha impulsado mucho el desarrollo de la metalización sin corriente. Entre los procedimientos químicos (sin corriente) se distinguen tres para la separación de metales:

1. El procedimiento de reducción.
2. La separación por intercambio iónico.
3. La separación por el método de contacto.

Para el procedimiento de reducción han de existir superficies de acción catalítica, con objeto de que la separación metálica tenga lugar sin perturbaciones. Son metales de acción catalítica el hierro, níquel, cobalto, paladio, rodio, oro. Aluminio y magnesio. Como agentes reductores se utilizan preferentemente hipofosfito sódico e hidruros de boro o borazanos. Para la separación no electrolítica de cobre se utilizan aldehídos, hidrazina e hipofosfito sódico.

En la separación de cobre y cinc por el procedimiento de intercambio iónico se observa muchas veces un porcentaje de aleación, que alcanza a veces hasta 20 % de latón. El principio del método de contacto se basa en que el metal a recubrir se acopla con otro metal no noble, forzando así la Acabados superficiales de plásticos y compuestos deseada separación metálica. El metal base forma con el metal de contacto un elemento galvánico. El metal auxiliar actúa aquí de ánodo, y el objeto a galvanizar de cátodo. Como ánodos auxiliares se utilizan alambres o chapas de un metal no noble, o bien se recubren las piezas a metalizar con un granulado o polvo que actúa anódicamente. Un método usual es la separación de estaño sobre hierro, actuando el aluminio como ánodo auxiliar.

El procedimiento de reducción para níquel y cobre ha adquirido la mayor importancia entre los métodos sin corriente eléctrica. Mientras que el niquelado se utiliza tanto para metales como para no conductores, el recubrimiento con

cobre sin corriente sólo ha encontrado prácticamente entrada en la metalización de no conductores.

Con las soluciones de cobre los problemas son similares al níquel. Tienen importancia decisiva los agentes reductores, los estabilizadores y el ajuste del valor de pH y de la temperatura.

El hecho de emplear cobre o níquel como primera capa conductora depende de las exigencias técnicas. Las capas de cobre pueden separarse de las soluciones a temperatura ambiente, por lo que no ofrecen ningún peligro para las propiedades mecánicas de los termoplastos; con las soluciones de níquel se trabaja normalmente a temperaturas más elevadas. Las soluciones para niquelado sin corriente son más estables, por lo que proporcionan un mayor tiempo de vida. Para el empleo en electrónica se prefiere el cobre, debido a la buena conductividad y la elevada ductilidad.

Los ensayos de corrosión realizados no permiten establecer claramente si es mejor el comportamiento del cobre o del níquel como primera capa metálica aplicada sin corriente. Acabados superficiales de plásticos y compuestos

PLASTICOS GALVANIZABLES Y SUS PROPIEDADES

A principios de los años 50 se encontró en el lijado mecánico un camino viable para determinados plásticos. Sin embargo, este procedimiento se utilizó principalmente para artículos de grandes series, como botones, etc. Al principio de la década de los 80 se comprobó que determinados plásticos son aptos para un asperizado químico; de este modo se obtiene una excelente adherencia, que satisface incluso las exigencias elevadas. El plástico sobre el que se aplicó primero este procedimiento de asperizado químico fue el ABS, un polimerizado de acrilonitrilobutadieno-estireno.

Los plásticos ABS constan de dos fases o estados distintos, la fase rígida coherente y una fase elástica (de caucho), que se encuentra distribuida en la fase rígida en forma de fina dispersión.

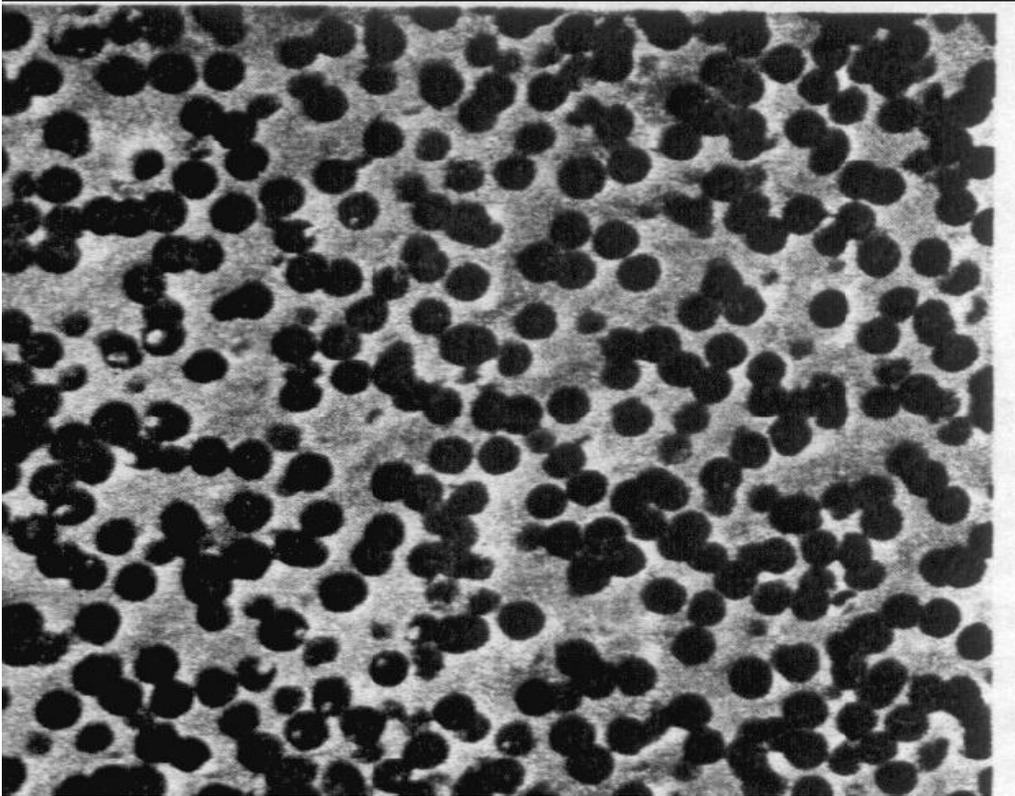


Figura. 4 1. Vista al microscopio electrónico de un plástico ABS.⁸

⁸ www.metalizacion.com

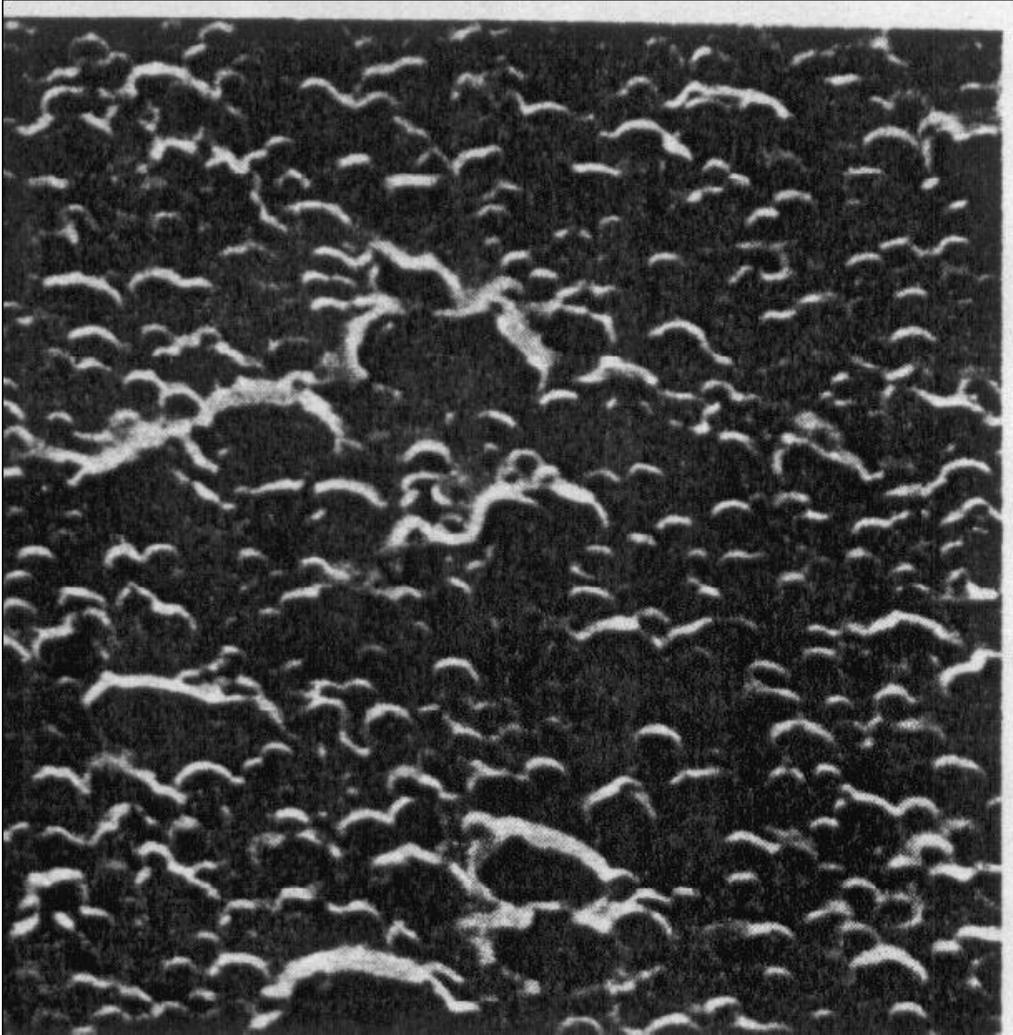


Figura. 4 2. Superficie de ABS tras el asperizado.⁹

Mediante los ácidos crómico-sulfúrico o bien una mezcla de ácidos crómico-sulfurico-fosfórico se consigue disolver y oxidar la fase elástica presente en forma de bolas, eliminándola así de la superficie. Se origina con ello una estructura con muchas cavidades de tipo caverna, que hacen posible un anclaje mecánico de la posterior capa. Adquiere especial importancia el polipropileno. Por una parte presenta una estabilidad de forma al calor más elevada que la del ABS; por otra parte su precio es considerablemente más bajo, aportando propiedades dieléctricas mucho mejores y una mayor estabilidad química.

⁹ www.metalizacion.com

El tratamiento previo (asperizado químico) es por el contrario algo más difícil; las temperaturas se sitúan alrededor de 70° C. Hace unos años se esperaba que el polipropileno llegara a ser un serio competidor de los plásticos ABS. Acabados superficiales de plásticos y compuestos

ELABORACIÓN TERMOPLÁSTICA

La adherencia a conseguir de la capa metálica es influida también por las condiciones de elaboración del plástico. Además no debe olvidarse que una pieza de plástico metalizada no puede ser nunca mejor que la superficie situada bajo el metal. Por ello adquiere particular importancia la técnica de inyección. Principalmente se trata de conseguir piezas moldeadas exentas al máximo de tensiones. Con diversidad de tensiones en la pieza se produce una deformación de la fase elástica en

el seno de la matriz de resma circundante. En consecuencia, tales piezas muestran, tras el asperizado en mezcla crómica, estructuras superficiales submicroscópicas con cavernas en forma de bola. Sobre una superficie de este tipo no puede efectuarse un galvanizado correcto, tanto por lo que se refiere a la adherencia como al aspecto de las capas galvánicas. Para la producción de piezas moldeadas con pocas tensiones es importante considerar:

1. Elevada temperatura de la masa.
2. Baja velocidad de llenado del molde.
3. Temperatura del molde media o elevada.
4. Presión de inyección media.
5. Presión residual reducida o descendente.

• Temperatura de la masa

La temperatura de la masa debe situarse entre 240 y 250°C para el ABS, no sobrepasando en ningún caso los 270°C. Temperaturas de elaboración demasiado bajas producen fuertes tensiones en las piezas y si son demasiado altas producen la descomposición térmica del plástico, especialmente en

combinación con largos tiempos de permanencia de la masa en el cilindro. En consecuencia, pueden producirse burbujas en la pieza, que estallan tras el galvanizado.

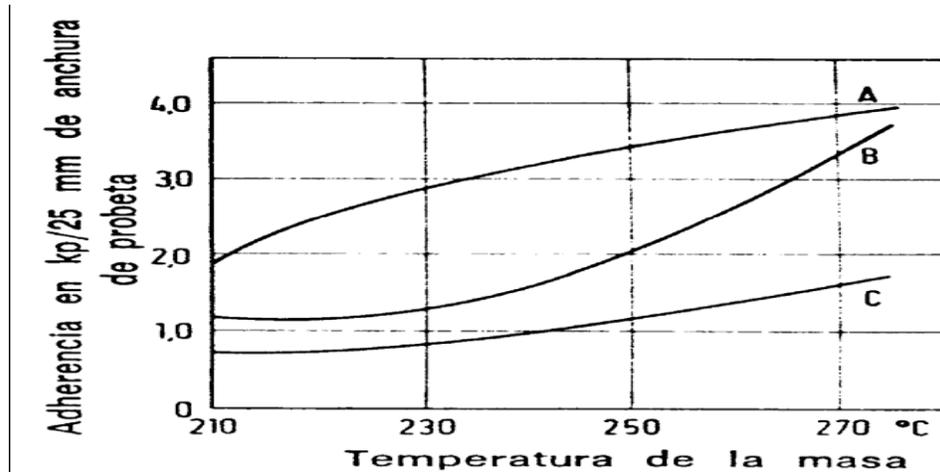


Figura 4.3 . Relación entre la adherencia de la capa metálica y la temperatura de la masa.¹⁰

Velocidad de llenado del molde

1. Inyectar de modo que se originen caminos de flujo lo mas cortos posible y de igual longitud en caso de moldes múltiples.
2. Inyectar en general en las zonas de mayor espesor para mantener lo mas reducidas posible las pérdidas de presión y dejar actuar durante el máximo tiempo la presión residual.
3. Inyectar de modo que no se origine un chorro libre de masa, es decir, trabajar siempre con choques sobre una pared o eventualmente con núcleo auxiliar desplazable.
4. Disponer la entrada de forma que las líneas de unión de flujo eventualmente originadas no aparezcan en la cara visible de la pieza inyectada.
5. Siempre que sea posible, no situar la entrada en zona visible.

¹⁰ www.metalizacion.com

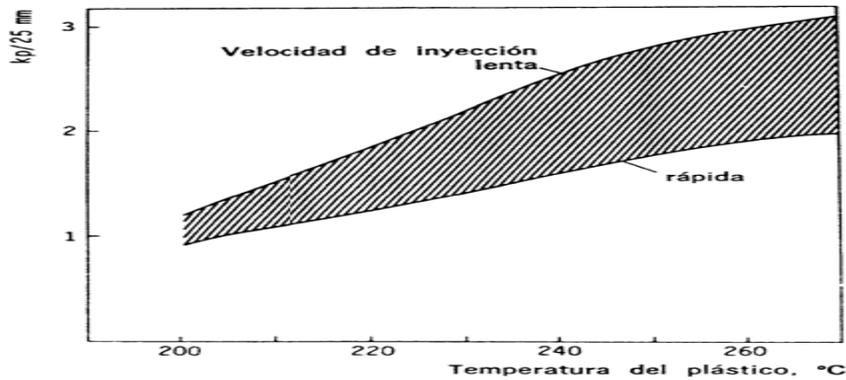


Figura. 4.4 Influencia de la temperatura del plástico y la velocidad de inyección sobre la adherencia de la capa metálica tras el galvanizado.¹¹

Temperatura del molde

La temperatura del molde se ha de mantener lo más elevada posible. La superficie de las piezas resultará tanto más brillante cuanto más elevada sea la temperatura del molde. Esta temperatura depende del espesor de las piezas. Para piezas con secciones gruesas, se recomiendan temperaturas de 35 a 45°C, y para las de paredes finas de 70 a 90°C.

¹¹ www.metalizacion.com

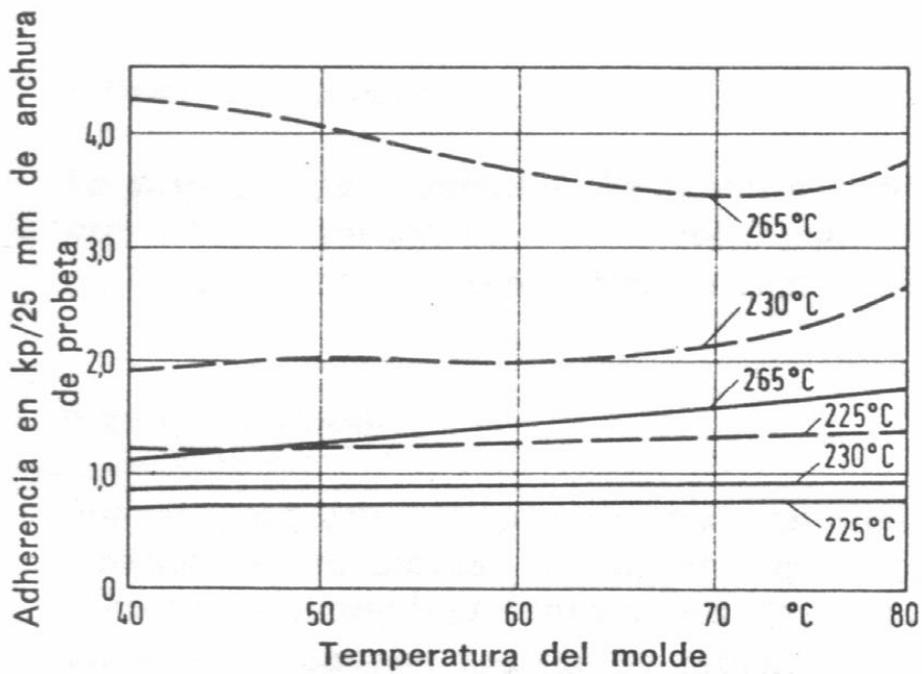


Figura. 4 5. Relación entre la adherencia de la capa metálica y la temperatura del molde.¹²

Presión de inyección

La presión de inyección tiene influencia sobre las tensiones en la pieza. por lo que debe mantenerse a un nivel medio.

¹² www.metalizacion.com

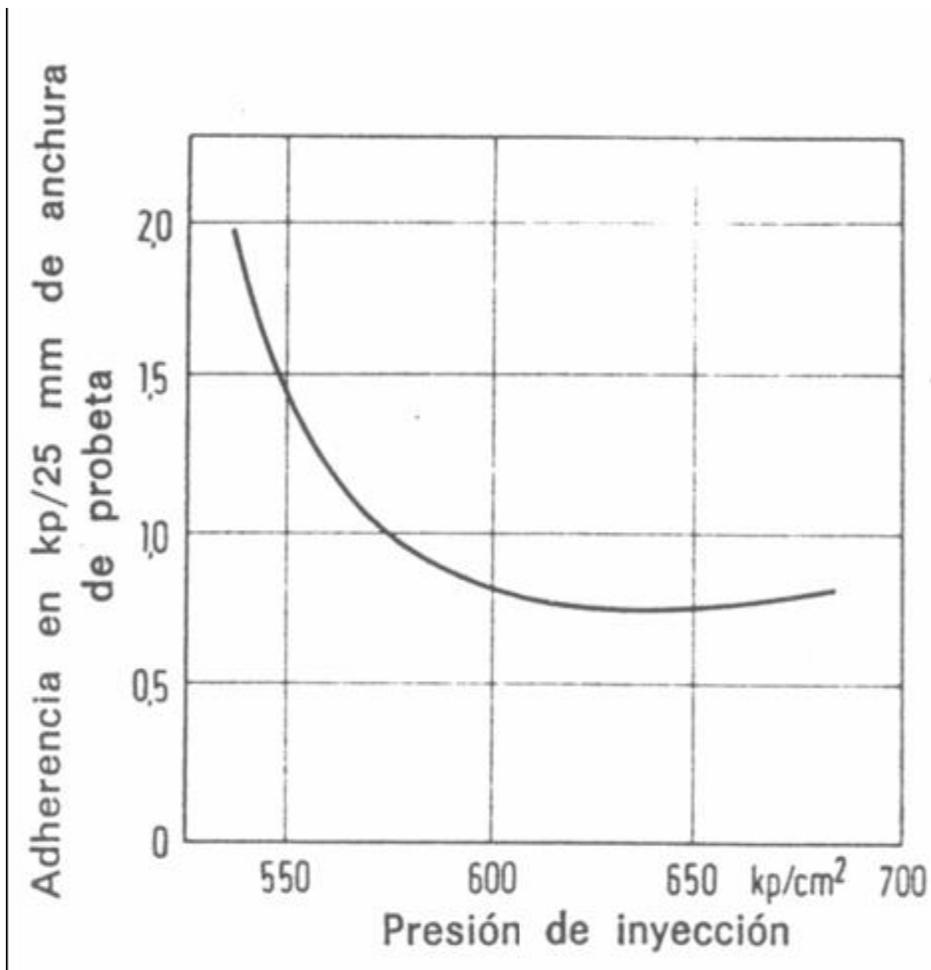


Figura. 4. 6. Relación entre la adherencia de la capa metálica y la presión de inyección.¹³

Presión residual

Por el contrario, la presión residual tiene una influencia mucho mayor sobre la calidad de las piezas. Es importante trabajar con una presión residual corta, a ser posible reduciéndose lentamente. Muchas veces, las piezas con abundantes tensiones tienden a deformarse en los baños de tratamiento galvánico.

- **Presión previa**

La elección de la presión previa correcta es condición indispensable para la producción de piezas sin defectos. Una presión baja produce

¹³ www.metalizacion.com

muchas veces una insuficiente desgasificación de la masa en el cilindro. Con ello, pueden quedar burbujas de aire en la superficie de la pieza que finalmente estallan en el posterior galvanizado

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE GALVANOTECNIA

1.- Colocar cada tanque en su abrazadera

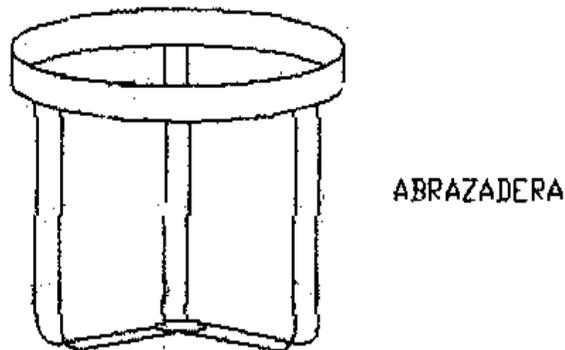


Figura 4.7. Abrazadera¹⁴

2.- Colocar los ánodos y el tubo de cobre donde se colgarán las piezas.



Figura 4.8 . – Ubicación de ánodos¹⁵

3.- **Llenado de los tanques.**- el llenado de los tanques se lo deberá hacer lentamente, ya que cualquier salpicadura de estos baños puede resultar

¹⁴ www.galvanotecnia.com

¹⁵ www.galvanotecnia.com

perjudicial, tanto para el operador como para los elementos circundantes al equipo (paredes, piso, etc.)

4.- Conexiones eléctricas.

Para los baños de cobre, níquel y cromo

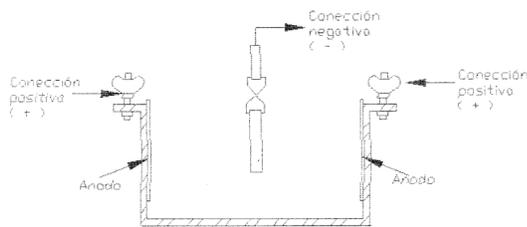


Figura 4.9 . Conexiones 1¹⁶

Mientras que para el desengrase

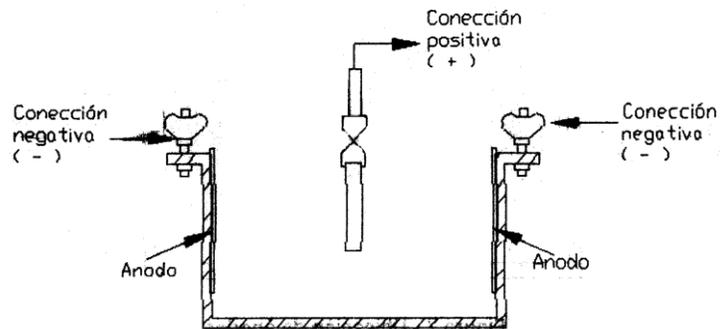


Figura 4.10. Conexiones 2¹⁷

5.- Sujeción de la pieza

Se sujeta la pieza a un alambre de cobre que en su extremo tiene un gancho para colgarla en el tubo de cobre.

¹⁶ www.galvanotecnia.com

¹⁷ www.galvanotecnia.com

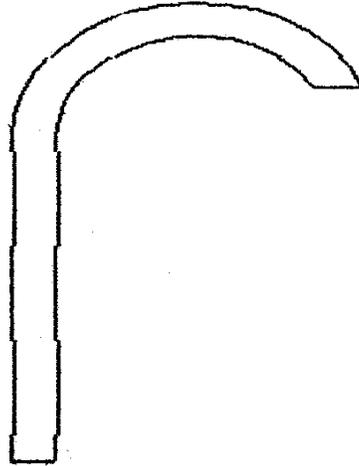


Figura 4.11.- Sujeción de pieza 1

6.- El amarre de la pieza debe ser lo suficientemente fuerte para que este no se suelte u caiga dentro del baño. Esta fuerza de sujeción no debe ser demasiado para que no se estorbe al depósito.

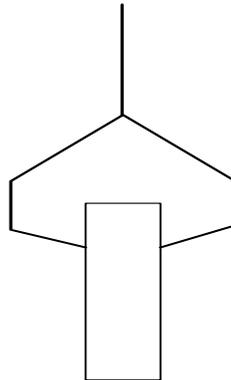


Figura 4.12 .- Sujeción de pieza 2

7.- La pieza debe estar colocada en el baño de la siguiente manera

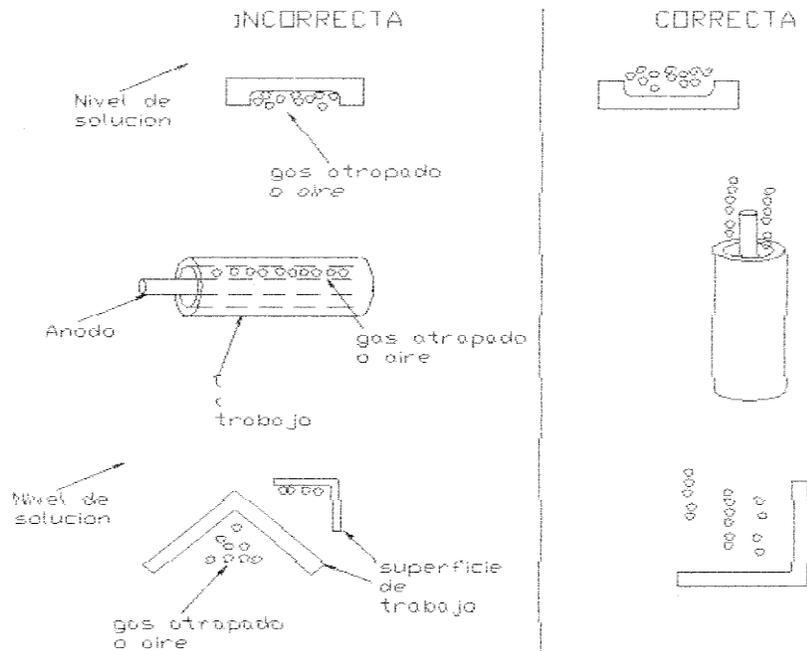


Figura 4.13 .- Formas de sumergir los objetos¹⁸

PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS

1.- DESENGRASE

Temp. óptima: ambiente

Voltaje: 1 – 6 V

Amp. Máx fuente= 15Amp

- Se puede dejar sumergida la pieza el tiempo que se crea conveniente (entre 5 y 15 minutos). Puede haber casos en la que el tiempo sea mayor, esto se debe a piezas muy grandes.

2.-DECAPADO

Temp. óptima : ambiente

Tiempo óptimo: hasta 10 min para piezas grandes

¹⁸ www.galvanotecnica.com

3.- BAÑO DE COBRE

Temp. óptima : 22° C

Voltaje: 1 – 6 V

Amp/plg²: 0.05 – 0.1= (7.75 * 10⁻⁵ – 1.55) Amp/mm²

Amp. Max fuente: 15Amp

Area a recubrir con relación a la fuente: 193548 -96774 mm²

Tiempo Promedio: 15-20 minutos

- Se puede remover la pieza del baño frecuentemente sin resultados adversos para la misma.

Los baños más usados en la práctica son dos: uno de ellos contiene sulfato de cobre y ácido sulfúrico, llamado también baño ácido, y el otro está constituido por una solución alcalina de un cianuro doble de cobre y potasio, conocido este último como baño alcalino.

Baños Acidos

El baño de cobre ácido es uno de los más sencillos que se conoce en la práctica de Galvanostegia.

Para evitar un exceso de cobre en el baño, sobre todo cuando este se disuelve mientras no está en funcionamiento, se usan ánodos insolubles de plomo, con lo que el exceso de este elemento se precipita en el cátodo mientras que se regenera ácido sulfúrico en el ánodo.

Los depósitos de cobre obtenidos a partir de los baños ácidos resultan un poco opacos, por lo que se han estudiado unja infinidad de aditivos para lograr que estos sean lisos y brillantes; entre estas tenemos la cola, la gelatina y la

caseína, de las tres la primera es muy usada, así como el *gulac*, en el cual es un subproducto de la fabricación de la pulpa de papel por el procedimiento al sulfito.

Otros agentes de adición son los azúcares, los cuales son añadidos frecuentemente en estado de melaza en cantidades de 1 a 3 gr/l. También se usa la *tiourea* la misma que es cantidades de aproximadamente 0.01 gr/l, produce depósitos semibrillantes relativamente blandos, que pueden ser pulidos posteriormente.

Si se desean depósitos duros se deberá trabajar a una temperatura baja (20°C) y a densidades de corriente altas (5 a 15 Amp/ dm²); por el contrario si se desean depósitos blandos deberá operarse a temperaturas elevadas y densidades de corrientes bajas. La agitación para estos baños se hace ordinariamente mediante burbujas de aire. El contenido en ácido puede bajar hasta 10gr/l.

Baños Cianurados.-

El principal componente de estos es el cianuro doble de cobre y potasio. El cianuro de sodio es una sal blanca y venenosa, por lo que se recomienda gran cuidado en su manejo; de igual manera hay que procurar que el cianuro no se ponga en contacto con ningún ácido, ya que por ejemplo el ácido cianhídrico, CNH, es uno de los venenos más rápidos que se conocen. La acción el carbónico del aire origina algo de carbonato a partir del cianuro.

Los baños de cianuro se preparan en dos grados, unos altos en cobre u otros bajos, como se muestra en las especificaciones que se encuentran al inicio de este tema.

Para los baños bajos en cobre se usa como agente de abrillantamiento el hiposulfito sódico en una cantidad de 2gr/l, y se trata de no sobre pasar los 40°C ya que el cianuro se descompone a una temperatura mayor.

El rendimiento de corriente para estos baños es inferior al 80 % , por lo tanto es menor a la que se obtiene en los baños ácidos (100%), además la tensión para separar al cobre de un baño cianurazo es mayor de la que se necesita para hacerlo en un baño ácido, esto es debido a que la resistencia eléctrica es superior y la polarización de los electrodos es más elevada.

Los baños cianurazos se usan principalmente para cobrear el hierro. Debido a que la capa de cobre formada a partir del baño cianurazo no preserva perfectamente al hierro y el rendimiento es bajo. Es necesario continuar el cobreado usando un baño ácido o depositar otro metal como níquel o cromo.

Ánodos

Los ánodos de cobre se los encuentran de tres maneras:

- ✓ **Cobre electrolítico:** Viene en forma de láminas delgadas y es muy puro.
- ✓ **Cobre fundido:** Este contienen como impurezas Cu_2O , lo cual origina los barros anódicos.
- ✓ **Cobre laminado:** Estos tienen la ventaja de presentar unos cristales muy pequeños lo cual hace que se disuelvan más uniformemente.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
Recubrimiento poroso o con efecto anaranjado.	Impurezas en la solución	Recubrir una pieza corrugada por 30 minutos, luego filtrar la solución
Recubrimiento rugoso	➤ Amperaje muy	➤ Reducir la

	<p>alto</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Partículas suspendidas en la solución ➤ PH muy alto o bajo 	<p>corriente</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Filtrar la solución ➤ PH entre 3.5 – 4.5
Depósitos oscuros	Plomo o zinc en la solución	Recubrir una pieza corrugada por 30 min.
Depósitos quemados	Corriente muy alta	Reducir corriente
Depósitos opacos / nubosos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pobre limpieza ➤ Contaminación orgánica ➤ Elevada temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limpieza ➤ Filtrar solución ➤ Bajar temperatura
Recubrimiento empañado	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Demasiado amperaje ➤ Deficiente pulido 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bajar amperaje ➤ Mejor pulido
Recubrimiento que se descascara	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Excesiva corriente ➤ Superficie muy caliente al momento del pulido ➤ Pobre preparación superficial 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducir amperaje ➤ Reducir la presión de pulido sobre la pieza ➤ Mejor preparación superficial

Cuadro 4.1 Problemas, causas y soluciones del baño de cobre

BAÑO DE NIQUEL

Rango de temperatura del baño = (40-46)°C

Voltaje: 1.5 – 6 V

Amp/plg²: 0.05 = $7.75 \cdot 10^{-5}$ Amp/mm²

Amp. Max fuente = 15Amp

Área a recubrir con relación a la fuente : 193548 mm²

Tiempo Promedio: 15 – 20 minutos acabado decorativo

60 minutos acabado resistente a la corrosión

El níquel es uno de los más importantes entre los que se usan como recubridores electrolíticos, no solamente por la poca cantidad de este que se consume en el proceso sino también por la diversidad de usos a la que se destina. El níquel se usa para recubrir el hierro, latón, zinc y manganeso; frecuentemente se recubre a este con una delgada capa de cromo para que resista a los agentes atmosféricos.

Además, ya que el cromo electrolítico es poroso, se usa el niquelado como operación previa al cromado para que los depósitos resultantes sean más compactos. El niquelado como el cromado, se usan en la recuperación de piezas metálicas que han sido desgastadas por rozamiento, con el fin de restaurar sus proporciones primitivas, así como para la preparación de electrotipos, matrices de gramófonos, tamices, etc.

Composición de los baños de níquel.- Como podemos observar al inicio del tema. Existen muchos baños de níquel aunque todos poseen un sulfato de níquel, un cloruro, ordinariamente el cloruro de níquel, y un agente regulador de pH, casi siempre el ácido bórico.

Las sales usadas en los baños de níquel son los sulfatos, los cloruros y los carbonatos.

Sulfatos.- Estos se adquieren en el mercado con una pureza comprendida entre el 29% y el 23%, ya que se cristalizan con seis o siete moléculas de cristalización, entre los que más se usan tenemos:

- ❖ Sulfato doble de níquel y amonio ($\text{SO}_4\text{Ni} \cdot 6\text{H}_2\text{O} \cdot \text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$), el cual no es muy usado en la actualidad ya que origina depósitos duros, y ha sido relegado casi únicamente para la preparación de electrotipos.
- ❖ Cloruro de níquel ($\text{Cl}_2\text{Ni} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). este proporciona además de iones de níquel una buena corrosión anódica y suficientes iones cloruros.
- ❖ Carbonato básico de níquel ($\text{NiCO}_3 \cdot \text{Ni}(\text{OH})_2$), el mismo que cumple la función de neutralizar la solución sin introducir iones extraños.
- ❖ Acetato ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$), usado recientemente para mejorar la corrosión anódica.
- ❖ Formiato ($\text{Ni}(\text{CO}_2\text{H})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), también de uso reciente. mejora la calidad de los depósitos y da un mejor acabado superficial a la pieza.

Cloruros.- Las sales de níquel contienen otros metales que perjudican la operación de niquelado. Cantidades máximas permitidas de estos metales.

- Fe= 0.1 %
- Zn= 0.05 %
- Cu= 0.02 %
- Ácido libre = 0.1 %
- Residuos insolubles= 0.1%

El sulfato de níquel obtenido de la refinación del cobre siempre contienen pequeñas cantidades de cobalto el que, en pequeñas cantidades, no es problema para las sales u los ánodos.

El cobre y el zinc se pueden eliminar neutralizando el baño con amoníaco o carbonato de níquel mientras que el hierro si su pH no es muy bajo, se

mantendrán dentro de unos límites aceptables. El hierro también provendrá del ánodo en una proporción del 5%, el mismo que se alea con el níquel para favorecer su corrosión

Carbonatos.- Además de las sales de níquel es preciso añadir a los baños un agente amortiguador del pH, para mantener este dentro de un margen determinado. Si los baños tuvieran únicamente sales de níquel, tendrían un poder amortiguador bajo y las diferencias de los rendimientos anódico y catódico originarían una variación del pH que se precisaría corregir continuamente, mediante adiciones de ácidos o bases.

Estos agentes amortiguadores retardan la variación del pH en el cátodo, evitando que se alcance el valor de Ni(OH)_2 en el que este se precipitaría; de esta manera se amplía la densidad de corriente límite bajo la cual se obtienen buenos depósitos.

Como agentes amortiguadores se usan el ácido bórico, el acético y el fórmico; siendo de estos tres el más usado el primero.

Comúnmente se usan agentes abrillantadores, los que tienen la función de alisar los depósitos a medida que adquieren espesor. Como agentes de abrillantamiento se usan sales inorgánicas como las de cobalto o zinc, y cuerpos orgánicos, como los formiatos, aldehidos, acetonas, etc. El uso de esto ahorra mucho el trabajo de pulido.

A estos últimos se puede añadirse un agente que evite la picadura, que son puntos donde el depósito es más delgado debido a la presencia de finas burbujas de gases presentes en el cátodo; si esta se formó al inicio se formará un poro de lo contrario se tendrá un depósito más delgado, lo que es dañino en ambos casos.

Para remediar esto se añade al baño peróxido de hidrógeno y un agente humedecedor.

Ánodos

Los ánodos de níquel poseen actualmente una pureza superior al 99%, generalmente son laminados y fundidos, el inconveniente es que son un poco caros.

Estos poseen cierta proporción de impurezas las cuales favorecen su ataque y disolución; los barras anódicas están constituidos de finas partículas de níquel y óxidos de este, así como también de carbón. Para evitar que estas impurezas alcancen el cátodo. Se usan bolsas de algodón que recubren el ánodo, las mismas que deben ser limpiadas periódicamente para que su función de filtro no sea interrumpida.

Eliminación de impurezas.- Estas deben eliminarse de los baños de níquel, sobre todo si se desea obtener depósitos brillantes, en los que no es factible pequeñas oscilaciones de color o brillo. Estas pueden ser:

- ✓ **Hierro:** Puede elevarse fácilmente, elevando el pH de los baños hasta un valor que haga que este se precipite en estado de hidróxido o de sales básicas y el correspondiente compuesto de níquel. Los agentes oxidantes destruyen parte de las impurezas orgánicas presentes en el baño, mientras que el resto son eliminados por precipitación cuando se las filtra.
- ✓ **Cobre:** El cobre se elimina junto al separar este por el método antes citado, sin embargo existen otros métodos específicos para hacerlo. Ya que el cobre es más noble que el níquel, puede separarse introduciendo en el baño piezas de níquel limpias y desengrasadas, sobre las cuales se precipita el cobre mientras que el níquel se disuelve. También pueden eliminarse el cobre y el plomote los baños de níquel controlando bien las

condiciones de la electrólisis; para lo que se suspenden electrodos de níquel puro y se hace pasar corriente por el baño, con una tensión de 0.8 voltios, hasta que se elimine todo el cobre. Esto último se conseguirá cuando al elevar la tensión hasta unos 2.5 voltios, se deje de apreciar el depósito negro del cobre, y el níquel empiece a formarse con su blancura característica.

- ✓ **Materias orgánicas:** Estas pueden separarse del baño por absorción y oxidación; por absorción se añaden sustancias como carbón de madera finamente pulverizado, agitando fuertemente y filtrando; por oxidación puede eliminarse añadiendo la cantidad justa de permanganato de potasio; para lo que se deberá hacer un ensayo aparte con una porción del electrolito.

Aplicaciones.- El níquel puede depositarse directamente sobre el acero, aunque es preferible recubrirlo con una capa de cobre previamente, para que el depósito tenga una mayor adherencia.

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
No hay depósitos	No hay paso de corriente	Revisar conexiones eléctricas
Recubrimiento con escamas, tono anaranjado en el recubrimiento.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Impurezas en la solución. ➤ Burbujas de hidrógeno formado sobre la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Filtrar la solución a través de un filtro de un café ➤ Añadir una cucharadita de peróxido de hidrógeno por cada galón de solución ➤ Hacer que las

		<p>burbujas del agitador sean más grandes</p>
<p>Recubrimiento rugoso</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amperaje muy alto ➤ Impurezas suspendidas en la solución ➤ PH diferente al rango 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducir el amperaje (1amp/ cada 97000mm²) ➤ Filtrar la solución ➤ Ajustar el pH entre 3.5 – 4.5
<p>Depósitos oscuros</p>	<p>Contaminación de la solución por zinc, plomo o cobre</p>	<p>Introducir en el baño una pieza corrugada y agitar la solución</p>
<p>Depósitos quemados</p>	<p>Corriente muy alta</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bajar la corriente ➤ Subir la temperatura

Cuadro 4.2 Problemas, causas y soluciones del baño de níquel

BAÑO DE CROMO

Temp. óptima: 46 °C

Voltaje: 3 – 12 V

Amp/plg²: 1 -1.5 = 2.35 – 10³ amp/mm

Amp. Max fuente = 15 Amp

Área a recubrir con relación a la fuente: 6452 mm²

Tiempo aproximado: 1 a 5 segundos

Baños de cromo.- estos baños usan ácido crómico, y se preparan disolviendo el anhídrido CrO₃ en agua; con lo que se forma el ácido dicrómico Cr₂O₇H₂.

Las sales cromosas son muy inestables debido a su gran poder reductor, y las de cromo trivalente se hidrolizan ya en medio ácido ($\text{pH} = 5.5$). lo cual da lugar a la formación de sales básicas.

Además para obtener un buen depósito es necesario ajustar los factores electroquímicos de la operación como la temperatura y la densidad de corriente.

En la práctica existen dos tipos de cromado, el cromado brillante y el cromado duro o industrial. La principal diferencia entre estos reside en que el cromado brillante se deposita en capas inferiores a 0.001 mm, mientras que el cromado duro tiene un espesor superior llegando hasta la 0.5 mm.

a) Cromado brillante: este se aplica sobre níquel, acero, latón o cobre, y tiene un uso extendido debido a que depósitos frecuentemente no necesitan pulido posterior; lo cual es muy conveniente y que el cromo es muy duro y su pulido mecánico es muy difícil.

La temperatura y la densidad de corriente son factores preponderantes para la obtención de un buen cromado brillante. Si se trabaja con cátodos de superficie regular es fácil mantener una densidad de corriente uniforme, pero si estos tiene una forma irregular, se podrán hallar puntos en los que la densidad de corriente sea hasta 5 veces mayor, en estos casos será necesario ubicar los electrodos de forma que se logre un reparto uniforme de la corriente sobre ella. Usualmente se usan ánodos auxiliares para trabajar en piezas voluminosas o irregulares, sobretodo si se desea recubrir interiores.

El poder de penetración de los baños de cromo es pequeño, y sobre objetos de forma irregular será difícil obtener depósitos de brillo uniforme; si se tratara de metales con una elevada sobre-tensión de hidrógeno, el poder de penetración mejora y los depósitos obtenidos son de brillo más uniforme, esto ocurre con los

objetos de cobre o latón; si el metal posee una sobre-tensión baja esto no ocurre, como es el caso del hierro y níquel.

Para cromar al hierro y al níquel, primero se los pasiva en ácido crómico, para lo que se recomienda introducir al cátodo en el baño mientras se cierra el circuito. Otra manera de mejorar la uniformidad de los depósitos sobre el hierro y el níquel, es cambiando la polaridad de los electrodos uno o dos minutos antes de iniciar la separación del cromo.

Debido a que el cromo electrolítico es poroso, los objetos a cromar usualmente son recubiertos con algún otro metal, para esto el más usado es el níquel, el mismo que ofrece al cromo una base brillante que mejora los depósitos.

Si se desea obtener depósitos resistentes a la corrosión generalmente se niquela primero sobre el metal base, luego se la recubre con una capa gruesa de cobre, la misma que pulida recubrirá los poros existentes, se vuelve a niquelar y finalmente se cromar.

b) Cromado duro: El cromado duro se aplica en capas de hasta 0.5mm, y es usado para recubrir la superficie de objetos que han de tener una buena resistencia al desgaste, protección anticorrosivo y las dimensiones que originalmente tuvieron piezas ya desgastadas por el uso. El cromado duro o industrial, carece de brillo debido a que se trabaja con una densidad de corriente de 15 Amp/dm^2 y una temperatura de 45°C y recubriendo previamente sobre níquel, se obtendrán depósitos de aspecto vidrioso y un poco más duro, que si se usase una densidad de 20 Amp/dm^2 sobre cromo simplemente.

Muchos de los usos de este tipo de cromado se debe a sus propiedades físicas. La dureza Brinell está entre 300 y 900 HB; los depósitos más blandos se obtienen a temperaturas superiores a los 85°C y a densidades de corriente relativamente bajas.

El cromo duro ordinario obtenido a 40 o 50°C es generalmente recomendable para fines decorativos y de resistencia al rozamiento; en cambio el cromo blando formado a altas temperaturas se usa para proteger al objeto contra la corrosión.

El cromado duro proporciona a las piezas una buena resistencia al rozamiento y a la corrosión, pero no cambia las propiedades del material base, si se va a recubrir una pieza que no va a experimentar grandes esfuerzos puede usarse, pero si las piezas van a sufrir esfuerzos elevados será preferible utilizar un material que pueda soportarlos.

c) Cromado poroso: Este es un método relativamente nuevo, que es usado para cromar los cilindros y anillos de los motores Diesel, donde se precisa de una buena lubricación.

Una vez que se ha cromado las piezas por el método convencional, estas son atacadas anodicamente para formar poros, en los cuales se introducirá el lubricante. Este ataque se hace en un baño de ácido crómico para agrandar y profundizar los poros, pero luego se debe eliminar estos depósitos para dejarlos con las dimensiones deseadas.

Anodos

Los anodos usados en el cromado son insolubles al paso de la corriente, pero no es recomendable su uso ya que este se desprende y se deposita en el fondo del baño en forma de sal crómica, lo cual no es recomendable para este tipo de baños, por esto el cromo es suministrado desde el ácido crómico, que es más económico.

PROBLEMAS, CAUSAS Y SOLUCIONES

PROBLEMA	CAUSA	SOLUCION
No existen depositos	- No hay corriente no se produce gas alrededor de la pieza	-Revisar todos los contactos
No hay depositos	- La polaridad esta revertida - Existe contaminación de acido	-Antes de introducir la pieza enjuagar bien
Manchas cafes en los depositos	- Insuficiente H ₂ SO ₄ en la solucion	-Añadir ½ cucharadita de acido de bateria
Depositos sin brillo	Incorrecto valor de temperatura y corriente	-Bajara a 2.47×10^3 A/mm ³
Manchas opacas	- Huellas dactilares sobre la pieza - Problema de enjuague	- Limpiar estas huellas con talco - Enjuagar la pieza anterior con agua destilada
Picaduras	- Superficie contaminada o burbujas atrapadas	- Mejorar limpieza superficial
Superficie quemada	- Corriente muy alta	- Reducir corriente
Depositos rugosos	- Corriente muy alta - Impurezas en la solucion	- Reducir la corriente - Filtrar la solucion con doble filtro para café - Retirar las impurezas del fondo del tanque
Pobre adhesion	- Pobre preparación superficial	-Revisar si el aceite se contamina con aceites o grasas
Recubrimiento parcial o unicamente los bordes	- Corriente insuficiente	-Limpiar los anodos con cepillo de cerdas de

		<p>acero</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revisar que la distribución del anodo sea equitativa - Revisar la potencia entregada por la fuente. <p>Remover los anodas del tanque cuando no se los use.</p>
--	--	--

Cuadro 4.3 Problemas, causas y soluciones del baño de cromo

4.2. TIEMPOS DE APLICACIÓN DE ACUERDO A FORMAS Y DIMENSIONES

De acuerdo a las formas que mas comúnmente se las da recubrimientos galvanotécnicos.

Usando el programa escrito en EXCEL que existe en el laboratorio de Metalurgia de la FIME se puede obtener los resultados: ANEXO F con explicación de funcionamiento.

4.3. RECOMENDACIONES Y NORMAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL PARA EL PROCESO DE GALVANIZACIÓN EN POLIMEROS

4.3.1. ENFERMEDADES, SÍNTOMAS Y TRATAMIENTOS

En estos procesos, el ion metalico en cualquiera de las soluciones ya sean estas acidas, alcalinas o neutrales es reducido en el metal base a ser recubierto. El ion metalico en la solucion usualmente se vuelve a completar mediante la disolución del metal desde los anodos que estan fabricados del mismo metal del recubrimiento o mediante una compensación directa de la solucion con sales metalicas u oxidos.

Los cianuros, usualmente en forma de NaCN o KCN, se usan en un alto grado como agentes que ayudan a realizar los recubrimientos de cadmio, oro y plata; mientras que son poco usados en los tratamientos con cobre, niquel o cinc.

Debido a la alta toxicidad y corrosividad de los baños usados para todos los procesos galvanotecnicos, los trabajadores y cualquier persona que tenga contacto, aunque sea casual, con estos tienen un alto riesgo de contraer enfermedades, las mismas que pueden ir desde una leve irritación cutánea, hasta el cancer a cualquier organo.

Ademas las aguas residuales de estos procesos pueden ser mortales si se las evacua en rios o inclusive con el resto de aguas servidas, si no se las trata previamente. Estas son tan dañinas que pueden atacar estructuras metalicas y de concreto por igual. Y, cuando son arrojadas con el resto de aguas servidas domesticas, al entrar en contacto con los jabones o detergentes que estas contienen mediante hidrólisis, liberan acidos con alto contenido de grasa que flotan en la superficie acumulando cualquier objeto que encuantra en su paso, formando una masa que llega a taponar los desagües. Eso sin contar con el hecho que estos matan los microorganismos que ayudan a la purificación de las aguas servidas.

Pero el peligro mas serio es el de botar metales pesados disueltos, en los desagües, ya que la liberación de gases toxicos y solidos suspendidos son una gran amenaza para el agua, el aire y el medio ambiente.

De todos los metales presentes, el mas dañino es el Cromo tetravalente, el mismo que en ciudades de Estados Unidos a provacado muertes por Leucemia, Cancer al utero y malformaciones en recién nacidos.

Los compuestos químicos presentes, en aguas residuales y en los baños, son todos toxicos, pero de esta gran cantidad hemos extraido los que mas lo son:

- ❑ Acido Sulfúrico (H_2SO_4)
- ❑ Arsénico (As)
- ❑ Cadmio (Cd)
- ❑ Cianuro (CN^-)
- ❑ Hierro (Fe)
- ❑ Plomo (Pb)
- ❑ Cromo Hexavalente (Cr^{+6})

A continuación se detallara los químicos mas importantes y las enfermedades que producen.

Acido sulfúrico

Es un liquido viscoso, incoloro e inodoro miscible en agua en cualquier proporcion, con reaccion exotérmica.

Propiedades Generales	
Formula	H_2SO_4
Peso Molecular	98.08

Peso Especifico (18°C)	1.834
Punto de Congelación	3 °C
Punto de Ebullicion	340 °C

Tabla 4.1 Propiedades generales del acido sulfurico

Este químico es el que esta mas presente en los procesos de recubrimiento de metales, ya que no solo se lo usa para el decapado de las piezas, en una concentración del 12%, sino que dentro de todos los baños (cromo, niquel,etc) se encuentra este en variadas proporciones

Síntomas

Entre los síntomas iniciales estan los fuertes dolores en los tejidos que han tenido contacto con el acido y, si se ingirio el acido, pueden presentarse problemas para hablar, excesiva salivación, vomitos comunes o sanguinolentos, dolores abdominales, disminución del esmalte en los dientes y quemaduras en la boca y traque.

a.- Si lo ingirio

Síntomas corporales:

- ❖ Fuerte dolor en la boca
- ❖ Fiebre
- ❖ Dificultad para tragar

Síntomas respiratorios

- ❖ Dificultad para respirar por inflamación de la garganta

Síntomas gastrointestinales

- ❖ Dolor abdominal
- ❖ Vomito con sangre ascura

Síntomas en el aparato circulatorio

- ❖ Presion arterial baja

b.- Si fue inhalado:

Síntomas corporales:

- ❖ Debilidad
- ❖ Dolor en el pecho (opresión)

Síntomas respiratorios

- ❖ Tos
- ❖ Dificultad respiratoria (sensación de no obtener suficiente aire)
- ❖ Expectoración con sangre

Síntomas cutaneos

- ❖ Labios, uñas y piel azulada

Síntomas en el aparato circulatorio

- ❖ Presion sanguinea baja

- ❖ Pulso rapido

Síntomas en el sistema nervioso

- ❖ Mareos

Tratamiento:

- ✓ En caso de ingestión de este, no se debe inducir al vomito (emesis); se debe buscar atención medica inmediatamente, de no ser posible lo anterior se debera tomar agua o leche inmediatamente, y de ser posible una cucharadita de leche de magnesia.
- ✓ En caso de que el acido haya caido sobre la piel u ojos, se los debera lavar con abundante agua durante al menos 15 minutos.
- ✓ Si se ha inhalado este por mucho tiempo, se debera trasladar al afectado al aire libre.
- ✓ En casos extremos su inhalación o ingestión puede ser mortal.

Hierro

Propiedades Generales	
Símbolo quimico	Fe
Peso Atomico	55.847
Peso Especifico (20°C)	11.34
Punto de Fusion	1535 °C
Punto de Ebullicion	2750 °C

Tabla 4.2. Propiedades generales del hierro

Es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene número atómico 26 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

El hierro fue descubierto en la prehistoria y era utilizado como adorno y para fabricar armas; el objeto más antiguo, aun existente, es un grupo de cuentas oxidadas encontrado en Egipto, y data de 4000 AC. El término arqueológico edad del hierro se aplica solo al período en el que se extiende la utilización y el trabajo del hierro. El procesamiento moderno del hierro no comenzó en Europa central hasta la mitad del siglo XIV.

El hierro puro tiene una dureza que oscila entre 4 y 5. Es blando, maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Tiene un punto de fusión de unos 1535 °C, un punto de ebullición de 2750 °C y una densidad relativa de 7.86, su masa atómica es 55.847.

El metal existe en tres formas alotrópicas distintas: hierro ordinario o hierro (hierro-alfa), hierro (hierro-gamma) y hierro (hierro-delta). La disposición interna de los átomos en la red del cristal varía en la transición de una forma a otra. La transición de hierro a hierro se produce a unos 910°C, y la transición de hierro a hierro se produce a unos 1400°C. Las distintas propiedades físicas de las formas alotrópicas y la diferencia en la cantidad de carbono admitida por cada una de las formas desempeñan un papel importante en la formación, dureza y temple del acero.

Químicamente el hierro es un metal activo. Se combina con los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) y con el azufre, fósforo, carbono y silicio. Desplaza al hidrógeno de la mayoría de los ácidos débiles. Arde con oxígeno formando tetroxido triferroso (óxido ferrosoferroso) Fe_3O_4 .

Expuesto al aire humedo, se corroe formando oxido de hierro hidratado, una sustancia pardorjiza, escamosa, conocida comúnmente como orin. La formación de orin es un fenómeno electroquímico en el cual las impurezas presentes en el hierro interactúan eléctricamente con el hierro metal. Se establece una pequeña corriente en la que el agua de la atmosfera proporciona una disolución electrolítica (vease electroquímica).

El agua y los electrolitos solubles aceleran la reaccion. En este proceso, el hierro metalico se descompone y reacciona con el oxigeno del aire para formar el orin. La reaccion es mas rapida en aquellos lugares donde se acumula el orin, y la superficie del metal acaba agujereándose.

Al sumergir hierro en acido nitrico concentrado, se forma se forma una capa de oxido que lo hace pasivo, es decir, no reactivo químicamente con acidos u otras sustancias. La capa de oxido protectora se rompe fácilmente golpeando o sacudiendo el metal, que vuelve asi a ser reactivo.

- Altas cantidades de este pueden dañar los sistemas de drenaje de aguas servidas o corroer cualquier metal que encuentre a su paso.
- Es extremadamente venenoso para animales, seres humanos y peces por igual; se han encontrado altas concentraciones de hierro en peces cuyas aguas han sido contaminadas con este metal.
- El envenenamiento con hierro produce fuertes dolores en las articulaciones, obstrucciones intestinales y males renales.

Plomo

Este es un metal industrial de color gris azuloso, de alta densidad, maleable en frio y blando. Es muy resistente a los agentes químicos. Aisla ruidos, vibraciones y radiaciones.

Propiedades Generales	
Símbolo químico	Pb
Peso Atómico	207.22
Peso Específico (20°C)	11.34
Punto de Fusión	327.5 °C
Punto de Ebullición	1620 °C

Tabla 4.3. Propiedades generales del plomo

Síntomas corporales

- ❖ Temblores
- ❖ Contorsiones
- ❖ Convulsiones
- ❖ Parálisis
- ❖ Dolor muscular
- ❖ Fatiga
- ❖ Debilidad
- ❖ Dolor articular
- ❖ Falta de coordinación

Ojos, oídos, nariz y garganta

- ❖ Anomalías de la vista

Síntomas gastrointestinales

- ❖ Pérdida de apetito
- ❖ Pérdida de peso

- ❖ Estreñimiento
- ❖ Vomito
- ❖ Diarrea
- ❖ Dolor abdominal

Síntomas cardiovasculares

- ❖ Presion sanguínea alta

Síntomas del sistema nervioso

- ❖ Agitación
- ❖ Coma
- ❖ Alucinaciones
- ❖ Apatía para hacer cualquier cosa
- ❖ Irritabilidad
- ❖ Dolor persistente de cabeza
- ❖ Dificultad para dormir
- ❖ Confusión

Tratamiento

- ✓ En caso de envenenamiento se debera contactar con la casa de salud mas cercana, para verificar la posibilidad de inducir al vomito. La exposición crónica al plomo puede conducir a una sobredosis acumulada para la cual la ipecacuana no es efectiva
- ✓ Si se recomienda inducir al vomito se debera proporcionar ipecacuana en pequeñas dosis
- ✓ Si se ha inhalado este por mucho tiempo, se debera trasladar al afectado al aire libre

- ✓ En casos extremos su inhalación o ingestión puede ser mortal

Cromo

Propiedades Generales	
Nombre comercial	Trióxido de cromo
Aspecto general	Cristales rojo oscuros
Formula	CrO ₃
Masa molecular	99.99 gr
Densidad	2.7 gr/cm ³
Punto de Ebullicion	No es destilable
Punto de Fusion	198 °C(se compone en vapores de color pardo – rojizo)

Tabla 4.4. Propiedades generales del cromo

El cromo se utiliza como catalizador en la síntesis del amoníaco, en la fabricación de aceros al cromo y aceros inoxidable, en aleaciones con cromo y en el cromado galvanico. Los complejos organicos encuentran aplicación como colorantes de relevado en la fotografia color; los compuestos organicos del cromo se utilizan como pigmentos para pinturas. Las sales del cromo (VI) se utilizan ampliamente para la preservación de la madera y para el curtido de cueros.

El cromo se encuentra en la naturaleza casi exclusivamente en forma de compuestos. El mineral de cromo mas importante es la cromita (cromoferrita, piritita cromica). El cromo puro se obtiene por reducción del oxido de cromo (III) con aluminio (procedimiento aluminotermico), mediante electrolisis o a traves del yoduro cromico. Su producción mundial es de 9935000 toneladas

Efectos característicos:

Seres humanos / mamíferos: Debido a su insolubilidad, el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos genéticos.

Los compuestos del cromo (VI) actúan en casi todos los sistemas de ensayo diseñados para determinar sus efectos mutagénicos. El hecho comprobado de que atraviesa la placenta significa un alto riesgo para los embriones y fetos. El efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (VI) no solo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también ha sido confirmado por los resultados de estudios epidemiológicos realizados con grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo.

Se considera que el período de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años. Contrariamente a lo que ocurre con los compuestos de cromo (VI), no fue posible demostrar en forma concluyente el efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (III).

Las intoxicaciones agudas con compuestos del cromo (VI) se manifiestan, por ejemplo, como lesiones renales. Las intoxicaciones crónicas pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroidea y en la médula ósea. El índice de eliminación es lento.

4.3.2. FORMAS DE PREVENCIÓN

Este documento consta de:

- ❖ Información acerca de los peligros más relevantes relacionados con este trabajo.

- ❖ Una presentación mas detallada y sistematizada de los diferentes riesgos relacionados con el trabajo en galvanotecnia, con sus indicadores numerados para sus respectivas medidas preventivas.
- ❖ Sugerencias de medidas preventivas dependiendo del numero asignado a cada riesgo ocupacional.
- ❖ Información especializada, relevante para los profesionales del area de seguridad y la salud ocupacional.

Peligro de accidentes

- Caidas en pisos resbalosos debido a sustancias acuosas o solventes (1)
- Golpes por caidas de articulos pesados, incluidos aquellos de bandas transportadoras que pasan sobre la cabeza del trabajador (1)
- Shock electrico al tocar equipo electrico defectuoso, cables, etc. (2)
- Quemaduras por salpicaduras en baños de recubrimiento calientes, solventes y otros liquidos, por vapor, por estar en contacto con superficies calientes, ej. Hornos. (3,4)
- Cortes por herramientas filosas, aristas vivas de objetos a ser recubiertos, etc
- Heridas (especialmente en los ojos) causadas por particulas que estan en el aire, particularmente aquellas que salen despedidas de los esmeriles o las pulidoras. (5)
- Fuego y explosiones debido a la presencia de solventes inflamables usados en la limpieza de superficies, polvo metalico (ej. Aluminio) o hidrógeno involucrado en los procesos de recubrimiento superficial.

- Reacciones químicas explosivas causadas por la mezcla incontrolada de elementos químicos (ej. Si se mezcla agua con ácido sulfúrico concentrado).
(4)

- Envenenamiento agudo por varios químicos usados en el recubrimiento y la preparación superficial. Un peligro muy particular podría ser la posible liberación de un gas extremadamente venenoso como el cianuro de hidrógeno, si se añaden ácidos a varios baños alcalinos o en baños desengrasantes electrolíticos que contengan sales de cianuro. (4,6)

- Envenenamiento por fosgeno, el mismo que puede ser formado si solventes clorados o sus vapores se calientan por entrar en contacto con una superficie caliente o una llama, o si un trabajador fuma en presencia de estos solventes.
(6)

- Quemaduras químicas producidas por líquidos corrosivos. (4)

- Daño a los ojos por salpicaduras de líquidos, en particular si objetos metálicos caen en los baños. (5)

Peligros físicos

- Exposición a niveles de ruido excesivos, en particular durante el movimiento del tambor de galvanizado.

- Exposición a factores medioambientales adversos (Alta temperatura y humedad).

- Exposición a radiación infrarrojo del equipo de secado.

Peligros químicos

- Exposición a solventes orgánicos y a diversas fórmulas para limpieza, y a sus vapores. (6)
- Exposición a polvos metálicos potencialmente peligrosos generados por el mecanizado de los mismos (pulido, cepillado, etc) o por la salida de gases y sprays producidos por la preparación de los baños de recubrimiento o limpieza superficial. (6)
- Envenenamiento crónico producido por la inhalación o ingestión de los varios químicos que se usan en la industria galvanotécnica. (7)
- Enfermedades de la piel causadas por la exposición de esta a líquidos de limpieza, soluciones ácidas y alcalinas, solventes orgánicos, etc (7)
- Irritación de las membranas mucosas (en particular de las del tracto respiratorio) debido a vapores o aerosoles ácidos o alcalinos, y otros químicos.

Peligros biológicos

- No se han detectado peligros biológicos específicos para esta profesión

Factores Ergonómicos, psicosociales y organizacionales

- Heridas musculares u óseas relacionadas con incómodas posiciones de trabajo (incluido el agacharse constantemente para colocar o extraer objetos de los baños).
- Sobre esfuerzo físico al cargar o transportar bultos pesados, botellas con químicos, etc.

- Problemas psicológicos y de comodidad relacionados con el uso prolongado de ropa de seguridad (incluido el uso de botas protectoras, ponchos u otra ropa impermeable) y debiso a temores (algunas veces agudos) cuasados por el constante estado de alerta debido a los peligros inherentes de este trabajo.

Medidas Preventivas

(1) Usar zapatos o botas con suelas antideslizantes, y/o con punta de acero.

(2) Revisar el equipo electrico antes de usar. Llevar el equipo electrico defectuoso o sospechoso de serlo a donde un técnico electricista calificado para su prueba y reparación.

(3) Usar equipo de protección y vestimenta resistente a los químicos para evitar la exposición de la piel u ojos a solidos, liquidos, gaes o vapores corrosivos.

(4) Obedecer todas las instrucciones que tengan que ver con el almacenamiento, transporte, manipulación y vertido seguro de los diversos productos químicos, o el desecho de los baños que ya no srivan; NO mezcle productos químicos sin la supervicion de un químico calificado o un profesional en la seguridad industrial.

(5) Usar gafas de protección siempre que los ojos posiblemente vayan a estar expuestos al polvo, particulas suspendidas, o a salpicaduras de liquidos peligrosos.

(6) Usar respiradores cuando se vaya a estar expuesto a aerosoles, polvos, gases o vapores peligrosos.

(7) Tomas extremas precauciones cuando se vaya a manipular agentes altamente corrosivos como el acido hidrof luorico, el acido cromico (trioxido de cromo) acido nitrico concentrado, etc; de ser posible usar substitutos mas seguros.

(8) Si se ha diagnosticado una sensibilidad al latex, no usar este tipo de guantes.

CAPITULO 5

ANÁLISIS ECONOMICO, FINANCIERO E IMPACTO AMBIENTAL

5.1. ANÁLISIS ECONOMICO

CALCULO DE COSTOS DE LOS PROCESOS GALVANOTECNICOS

Aquí se describe un método aproximado para calcular los costos de los procesos galvanotecnicos, tratando de considerar unicamente los parámetros mas importantes involucrados, asi como tambien se dara pautas para simplificar su uso. La meta es el determinar un método simple y confiable para obtener una idea cabal de los costos involucrados en estos procesos.

Los costos de estos procesos se basan en tres factores principales:

1. Material
2. Mano de Obra
3. Equipo usado

La mano de obra es, definitivamente, el factor mas importante en la mayoria de los procesos de recubrimiento superficial; sobretodo en aquellos en los que el material no es tan caro.

Otro parámetro muy importante a ser tomado en cuenta es el área de la superficie a ser recubierta, debido a que esta influye en los tres factores mencionados, a continuación se describe un método empírico.

Para estimar estas, método desarrollado por los Doctores Andrea Mazzilli y Torben Lenau, de la Universidad Técnica de Dinamarca.

6.1.1 COSTOS DE MATERIALES

Para poder calcular el costo de materiales de un objeto que será recubierto, se deberá conocer la cantidad de material a ser depositado y el precio del material que se usará para recubrir.

- Cantidad de Material

La cantidad de material (masa) que va a ser depositado depende de tres parámetros:

- a) El área superficial
- b) El espesor del recubrimiento
- c) La densidad del material

a) Cálculo del área superficial del objeto

A veces esta se vuelve una tarea muy complicada, por lo que cuando es posible se la realiza utilizando herramientas específicas, como son ciertos programas computacionales o mediante la aproximación de esta geometría compleja hacia una más común o más simple. Esta puede ser una esfera, cono, cilindro o paralelepípedo, dependiendo de la forma de esta parte. Para este método se basa en el artículo escrito por Andrea Mazzilli y Torben Lenau.

b) Espesor del recubrimiento (t) μm

El espesor del material depende del material y de su uso, por lo que variara dependiendo del caso. Como sea, cada proceso galvanotécnico tiene un rango recomendado de valores.

c) Densidad del material

Para simplificar los cálculos de la cantidad de material, se transforman los valores dados comúnmente en tablas que vienen dados en (g/cm³), mediante la fórmula:

$$q_m = 0.01 * d_m$$

donde d_m = Densidad del material (g/cm³)

La siguiente tabla muestra los valores mas comunes que son asignados a estas variables.

Material	Densidad ¹⁹ (g/cm ³)	Rango de espesor ² (μm)	Espesor tipico ³ (μm)	Precio ⁴ (USD/Kg)
Latón	8.4	2 - 10	3	0.0072
Bronce	8.7	10 - 20	15	0.0040
Cromo	7.2	10 – 1000 duro 0.25 – 1 decorativo	100/0.5	0.0010
Cobre	8.9	5 - 50	25	0.0034
Oro	19.3	0.1 - 3	1.5	13.63
Niquel	8.9	20 - 50	30	0.010
Platino	21.5	-	-	14.04

¹⁹ Valores tomados de Design inSite, The desinger guide to manufacturing

² Valores tomados de The Complete Plating manual

Paladio	11.9	-	-	4.08
Plata	10.5	2.5 - 25	12.5	0.20
Estaño	7.3	1 - 13	7	0.008
Cinc	7.1	5 - 15	10	0.0013

Tabla 5.1 . Densidades, espesores tipicos, y precios de algunos de los materiales mas usados en procesos galvanotecnicos.

- Precio del Material (p) (USD/g)

El precio del material de recubrimiento es cambiado todos los dias, de acuerdo a la oferta y la demanda del mercado. Ademas, en la mayoria de los casos, los costos del material representan una pequeña parte del costo total de los procesos.

Basados en los parámetros descritos anteriormente, el costo de material de cualquier componente recubierto por medios galvanotécnicos, viene dado por la formula:

$$C_m = p * q_m * S * t \text{ (USD / pieza)} \quad (5.1)$$

Las costos de material tienen una gran influencia en los costos totales del proceso, unicamente cuando se trata de recubrimientos por metales preciosos o caros, como son el oro o el platino.

A pesar que la plata es un material un poco costoso, en el caso de recubrimientos de partes medianas y pequeñas, es costo de material no tiene mucha influencia en los costos globales de los procesos de recubrimiento, debido a que la mano de obra es este caso es mas costosa que lo anterior.

5.1.2. COSTO DE MANO DE OBRA

Los dos factores mas importantes para calcular el costo de la mano de obra son la paga por hora y el tiempo empleado

- Paga por hora (w_1) (USD/h)

Si bien en el Ecuador no se tiene la costumbre de pagar a la gente por hora, sino mensualmente, se calcula que un obrero del medio gana aproximadamente 1.50 USD/hora.

- Estimado del tiempo empleado (min/part)

El tiempo que se requiere para recubrir determinado objeto, esta compuesto de diferentes clases de tiempo:

- a) Tiempo del proceso galvanotécnico.
- b) Tiempo de mano de obra, que esta relacionado con la preparación del componente y las operaciones que tienen lugar después del proceso (secado , empacado , etc)

a.- Tiempo del proceso galvanotécnico (t_b) (min/pieza)

Una vez definida la composición del baño, se fija el tiempo total para el recubrimiento de las piezas en el baño. Por tanto cada baño tiene sus propios parámetros, los cuales dan la tasa de deposición del baño.

Si cambia el tamaño de las piezas a ser recubiertas, o del baño, la intensidad de corriente tambien se incrementa para mantener la misma densidad de corriente, y consecutivamente el mismo tiempo de deposición.

Al contrario, ya que los baños electrolíticos siempre están llenos hasta el tope de su capacidad, los tiempos de estos procesos decrecen substancialmente asando baños o piezas más grandes.

Así, el tiempo de recubrimiento viene dado por la fórmula ¹

nnnnn

$$T_b = \frac{(t * d_m * 60)}{(I * E * Y)} [\text{min}]$$

Donde :

$$\begin{aligned} t &: \text{Espesor del recubrimiento} \quad [\mu\text{m}] \\ d_m &: \text{Densidad del material} \quad [\text{g}/\text{cm}^3] \\ I &: \text{Intensidad de corriente} \quad [\text{Amp}/\text{dm}^2] \\ E &: \text{Equivalente electroestático} \quad [\text{g}/\text{Amp} * \text{h}] \\ Y &: \text{Rendimiento de corriente} \quad [\%] \end{aligned} \quad (5.2)$$

Los valores de estos parámetros mostrados a continuación, son los más usados, pero cabe recalcar que no son los únicos.

Material	I (Amp/dm ²)	E (g/Amp*h)	Y (%)
Latón	2	1.204	70
Bronce	2	2.06	100
Cromo decorativo	12	0.032	10
Cromo duro	50	0.064	20
Cobre decaativo	3	1.186	100
Cobre para maquinado	3	0.71	60
Oro decorativo	0.25	6.62	90
Oro técnico	2	3.68	50
Níquel	4	1.04	95
Platino	5	0.182	10

¹ Tomados del libro. Tabellen and Betriebsdaten für die Galvanotechnik.

Plata	1	4.024	100
Estaño	1	1.107	100
Cinc distribución uniforme	2	1.04	85
Cinc sin incrustaciones de hidrogeno	6	1.22	100

Tabla 5.2. Valores comunes de la intensidad de corriente (I), equivalente electroestático (E) y rendimiento de corriente (Y), para diferentes materiales de recubrimiento

Para obtener el tiempo de recubrimiento por pieza se deberá dividir el tiempo total de recubrimiento por parte por la capacidad del baño (dm³), y luego multiplicar esto por la componente por el área de la pieza.

Los tamaños de los baños van desde 200 litros (en plantas pequeñas) hasta 4000 litros (en grandes fabricas).La capacidad del baño en dm² puede ser estimada como 1/10 de la capacidad del baño en litros. Por tanto:

$$b = 0.1 * \text{tamaño del baño}$$

$$t_b = \frac{T_b * S}{b} \left[\frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right] \quad (5.3)$$

La siguiente tabla proporciona valores razonables para tamaños mínimos y máximos de los baños, en litros, de acuerdo con diferentes tipos de producción (número de partes y tamaño de las mismas).

	Producción	Producción	Producción
--	------------	------------	------------

	pequeña	mediana	Industrial
	5 piezas	100 piezas	5000 piezas
Pequeña (1cm ²)	200/4000	200/4000	200/4000
Mediana (1dm ²)	200/4000	200/4000	4000/4000 ²
Grande (100 dm ²)	1000/4000 ³	1000/4000	4000/4000

Tabla. 5.3 Valores máximos y mínimos de tamaños de los baños, para diferentes tipos de producción (área superficial de la pieza, volumen de producción)

b.- Tiempo de mano de obra (t_a) (min/pieza)

El tiempo relacionado con la mano de obra (antes y después del proceso) depende del tipo de producción que se tenga.

Para industrias pequeñas (volúmenes pequeños de producción), este depende del estado de la pieza. Si esta vieja y requiere de una larga preparación, este tiempo se incrementara demasiado. Por tanto, dependiendo del estado de la pieza, tamaño y complejidad, este tiempo puede variar desde cinco minutos hasta algunas horas.

Esto no pasa cuando se tiene grandes volúmenes de producción, ya que para estos casos las piezas o componentes casi siempre son nuevas y no requieren de un largo período de tratamiento previo al proceso galvanotécnico. Es así que este tiempo depende en la mayoría de los casos del volumen de producción.

² Los tamaños mínimos y máximos de los baños ya que dichas producciones son realizadas únicamente por plantas industriales de gran tamaño

³ El tamaño mínimo del baño es 1000 litros en lugar de 200, debido a que este es el mínimo tamaño que puede contener una pieza de 100 dm³

Para grandes volúmenes de superficies desgastadas, las mismas que requieren de reparación, sin embargo, el tiempo de pre-tratamiento es muy importante.

La siguiente tabla muestra tiempos promedios estandar de mano de obra, para procesos galvanotécnicos dependiendo de los diferentes volúmenes de producción y tamaños de las piezas.

Tipo de producción	Producción pequeña			Producción Industrial		
	5 piezas	100 piezas	500 piezas	1000 piezas	5000 piezas	10000 piezas
Pequeña (1cm ²)	15	2	0.4	0.25	0.005	0.005
Mediana (1dm ²)	20	3	0.6	0.12	0.024	0.024
Grande (100dm ²)	25	4	0.8	0.12	0.024	0.024

Tabla 5.4. Tiempos promedios estandar de mano de obra para procesos galvanotécnicos o diferentes contextos de producción (áreas superficiales de la pieza, volumen de producción)

Por lo anterior se puede decir, que el total de tiempo empleado es la suma de t_a y t_b

$$T = t_a + t_b \left[\frac{\text{min}}{\text{pieza}} \right] \quad (5.4)$$

Considerando los parámetros previamente descritos, y de manera que sea factible obtener el costo de mano de obra relacionado al tratamiento galvanotecnico de una pieza, se debe multiplicar la paga por hora (promedio) por el tiempo total necesario para dar un tratamiento galvanotécnico a una pieza; Obteniéndose la siguiente fórmula.

$$C_1 = \frac{W_1 * T}{60} \left[\frac{USD}{pieza} \right] \quad (5.5)$$

Para poder determinar el tiempo apropiado por pieza de esa tabla, es necesario el definir primero el tipo de producción que se va a llevar a cabo (pequeña o industrial). Entre esas dos categorías se puede localizar el volumen de producción apropiado, sea este pequeño mediano o grande. Es factible interpolar o extrapolar valores respecto al volumen de producción, con resultados aceptablemente buenos. Eso si, no se puede hacer ninguna Inter o extrapolación entre categorías, ya que pueden dar lugar a errores substanciales.

Para volúmenes de producción menores a 5 piezas, se puede usar los valores dados para una producción de 5 partes exactamente. Para volúmenens de producción mayores a las 5000 piezas, casi nunca existe una ganacia de tiempo para un incremento en la producción, por lo que se puede usar los valores que se tienen para las 5000 piezas.

Para volúmenes entre 500 y 1000 piezas se pueden extrapolar los valores dados para una producción de 500 o 1000 piezas, de acuerdo con el tipo de producción considerada.

Se pueden hacer las mismas consideraciones para los valores de tamaño de baños de la tabla 3 aun cuando los valores son mucho mas similares, y es asi por lo que solo se toman en cuenta tres escenarios.

5.1.3. COSTOS DE EQUIPAMIENTO

El estimado de los costos de equipamiento es el mismo que el de los costos de mano de obra. Pero para este caso, se deberá considerar un costo hora por equipo (W_e)(USD/h), el cual se puede estimar¹ empíricamente alrededor de 0.0047 USD/h.

De ahí se obtiene que el costo por pieza, relacionado al uso del tiempo en procesos galvanotécnicos se calcula mediante la fórmula:

$$C_e = \frac{W_e * T}{60} \left[\frac{USD}{pieza} \right] \quad (5.6)$$

5.1.4. COSTO TOTAL

Finalmente, el costo total de someter un objeto a un proceso galvanotécnico es:

$$C_1 = C_m * C_1 * C_e \quad (5.7)$$

donde:

C_m = Costos de Materiales

C_1 = Costos de mano de Obra

C_e = Costos de equipamiento

Los costos directos, costos indirectos, depreciaciones, utilidades se estudian en el análisis financiero.

SUGERENCIAS

¹ Obtenido de discusiones con industriales del medio

- ❖ A pesar que este metodo es muy facil y practico, no se debe confiar totalmente en este, ya que algunos de estos valores han sido obtenidos de la practica, y para ciertas aplicaciones podrian no funcionar.
- ❖ Se debera tener extremo cuidado en el calculo de las areas superficiales, sobre todo en el caso de las superficies complejas, para no cometer errores muy significativas.
- ❖ Los valores de los metales estan tomados de LME (London Metal Exchange) pero debido a que los precios de los metales varian todos los dias, habra que tomar los mas actualizados.

5.2. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero consiste en determinar la viabilidad del proyecto a travez del análisis de ciertos parámetros de evaluación, como, periodo de recuperación de la inversión, valor actual neto, razon beneficio/costo, etc.

5.2.1. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO

- Establecer la viabilidad del proyecto en función de lo que deseen ganar los accionistas, considerando para ello su costo de oportunidad, asi como el valor a pagar a terceros
- Realizar la evaluación financiera mediante la cual se determine el nivel de rentabilidad que se obtendra. Utilizando los métodos que consideran el valor del dinero en el tiempo, aplicados al flujo de caja..

- Aplicar los respectivos parámetros de evaluación y analizar los resultados obtenidos de cada uno de ellos que permitan determinar si el proyecto es viable y rentable.

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE EVALUACION

- Periodo de recuperación de la inversión

Se define como el período que tarda en recuperarse la inversión inicial a través de los flujos de caja generados por el proyecto. La inversión se recupera en el cual los flujos de caja acumulados superan a la inversión inicial.

$$\text{PRI} = \frac{\text{INVERSIÓN INICIAL}}{\text{ENTRADA EFECTIVA ANUAL}} \quad (5.8)$$

- Relacion beneficio/costo

Esta razon expresa el rendimiento en terminos de valor actual neto, que genera el proyecto por unidad monetaria invertida.

$$\text{RB/C} = \frac{\text{FLUJOS GENERADOS POR EL PROYECTO}}{\text{INVERSIÓN INICIAL}} \quad (5.9)$$

- Valor actual neto

Consiste en traer a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a una tasas de descuento, y descontar la inversión inicial.

- Punto de Equilibrio

Es aquel donde los gastos totales, es decir, costos y gastos fijos y variables, igualan a los ingresos, por lo tanto la utilidad es igual a cero.

5.2.3. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS

Los ingresos para el laboratorio de Metalurgia son generados a traves de las matriculas. Esta asignatura tiene un total de 5 creditos, cada uno de ellos para el presente semestre tiene el valor de 26 dolares. Se estima que existiran unos 50 alumnos por semestre para este laboratorio dando asi un ingreso 6500 USD.

Se estiman los siguientes ingresos:

CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Galvanotecnia	375	500	625	750	875
Fundicion	125	312.5	375	437.5	500
Ciencia de los Materiales	125	312.5	375	137.5	500
Equipos de pruebas	50	550	50	50	50
Luz, agua, telefono	50	60	70	80	90
Varios(tierra,palas,etc)	40	60	70	80	90
TOTAL	765	1295	1565	1835	2105

Tabla 5.5. Ingresos estimados

5.3 ANALISIS AMBIENTAL

Los riesgos al medio ambiente y a la salud causados por los residuos peligrosos han generado preocupación a nivel mundial, la que se ha expresado en una legislación para controlarlos. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, si bien esta preocupación existe, la mayoría no tiene una legislación adecuada para su control.

El gran desarrollo de las sociedades industrializadas en los últimos años ha llevado consigo una serie de ventajas indiscutibles, el nivel u la calidad de vida han aumentado considerablemente; sin embargo un efecto secundario a este progreso es la generación de productos residuales muy aontamiantes y complejos, esta contaminación no solo altera el equilibrio ecológico, produciendo mortandad de algunas especies animales y vegetales, o la proliferación descontrolada de otros, sino que puede destruir en forma definitiva la vida en los lugares afectados.

La industria galvanica tiene por finalidad el tratamiento de superficies metálicas por procesos químicos o electroquímicos con los siguientes objetivos:

- Proteger las piezas contra la corrosion
- Mejorar su apariencia y durabilidad, al colocar un recubrimiento uniforme con mayor resistencia mecánica
- Disminuir el desgaste por abración
- Mejorar la resistencia de las piezas a temperaturas elevadas.

La industria galvanica constituye unos de los pilares en la economía del país, por la diversidad de productos que maneja, así como por el aspecto social al cual

esta ligado debido al numero de empleados que requiere, pero a su vez constituye, en uno de los principales focos de contaminación ambiental.

Teniendo en cuenta los efectos que sus aguas residuales pueden causar al medio ambiente y los problemas ecológicos irreversibles que se pueden presentar, el trabajo que presento esta orientado en la presentación de procesos que se vienen desarrollando a nivel de laboratorio para el tratamiento de las aguas residuales, que minimicen la cantidad de cianuros, cobre, cromo, entre otros metales contenidos en los desechos producidos.

Los procesos industriales generan una gama de residuos de naturaleza sólida, pastosa, liquida o gaseosa, con características corrosivas, reactivas, explosivas, toxicas y presentan riesgos potenciales a la salud humana y al ambiente. Estos residuos son los denominados peligrosos, como son los hospitales, el comercio, y la mineria. Sin embargo, el principal generados de los residuos peligrosos es la industria manufacturera, por lo que me concentraremos en ella.

La contaminacio de cuerpos peligrosos de agua (principalmente las aguas subterráneas) causada por la disposición inadecuada de residuos peligrosos hizo que los paises industrializados dieran una lata prioridad a su manejo.

El manejo de los residuos peligrosos incluye los procesos de minimización, reciclaje, recoleccion, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición. Actualmente, los paises industrializados tienden a promover la minimización y recicleje de los residuos peligrosos como la opcion desde el punto de vista ambiental.

Los programas de manejo y control tienen como base fundamental, una legislación que define a los residuos peligrosos y los clasifica y provee criterios para la identificación de los mismos. La facilidad para la identificación de los residuos peligrosos tienen una gran importancia en la legislación que se aplica

bajo el principio de (el contaminador paga) es decir, que el generador es responsable del manejo adecuado de sus residuos. Consecuentemente, las industrias deben saber identificar los residuos peligrosos y cumplir con los requerimientos que la legislación deben saber estipular.

Existen tres enfoques para la clasificación de los residuos peligrosos.

- I. A través de una descripción cualitativa por medio de listas que indican el tipo, origen y componentes del residuo

- II. La definición del residuo a través de ciertas características que involucran el uso de las pruebas normalizadas, por ejemplo pruebas de lixiviación¹ donde el contenido de ciertas sustancias en el lixiviado determinan si el residuo es peligroso o no

- III. La definición del residuo con relación a límites de concentración de sustancias peligrosas dentro del mismo residuo.

Cada una de estas tres alternativas tiene sus ventajas y desventajas. Mientras que la primera es la más fácil de administrar, las otras dos presentan una descripción más clara y precisa de los residuos.

En esta guía se ha adoptado un sistema de clasificación cualitativo, basado en las propiedades de los residuos, tales como composición, estado físico y características de peligrosidad. De esta forma se reduce los análisis de laboratorio para determinar si el residuo es peligroso.

5.3.1 OBJETIVO

¹ Proceso en el que se hace pasar lentamente un disolvente a través de una sustancia pulverizada y dispuesta en forma de una delgada capa, para extraerle una delgada capa, para extraerle una o varias sustancias solubles.

Esta guía tiene como objetivo presentar definiciones relacionadas con los residuos peligrosos y un sistema de clasificación viable y fácil de aplicar.

A más de eso esta dirigida especialmente a las autoridades de control de aquellos países que aun no han establecido un sistema de clasificación de residuos peligrosos. La guía también podrá ser utilizada por los industriales para determinar si generan residuos peligrosos, así como por los operadores de rellenos, quienes decidirán si los residuos pueden disponerse en el lugar bajo su responsabilidad.

En las siguientes secciones presento definiciones de términos básicos, la propuesta de clasificación de residuos peligrosos.

5.3.1.1 DEFINICIONES

Es necesario establecer definiciones precisas de los términos relacionados con los residuos peligrosos.

□ RESIDUO

Todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario

La dificultad principal de esta definición es que existe el potencial de reciclaje, ya que el residuo es al mismo tiempo una materia prima. Este problema se encuentra en todos los países y ha sido resuelto de diferentes formas, los materiales descartados son considerados como residuos aun si están destinados al reciclaje.

Esto implica que habrá mayor seguridad en la protección ambiental. Sin embargo, el costo para los generadores y recicladores se incrementa por los gastos administrativos de la manipulación y transporte de la carga. Este

incremento del costo podría disminuir el recicle, lo que no es deseable en terminos de gestion ambiental.

Sin embargo, se recomienda que el residuo sea considerado como tal, hasta su transformación o disposición, ya que de esta manera se consigue una mayor protección del ambiente, particularmente cuando la infraestructura de control es limitada.

□ **RESIDUO PELIGROSO**

Es aquel residuo que, en funcion de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad puede presentar riesgo a la salud publica o causar efectos adversos al medio ambiente. No incluye a los residuos radiactivos.

Se ha puesto énfasis en las características de peligrosidad tal como las características de explosividad y patogenicidad. Por otro lado, los residuos radiactivos, aunque en términos reales presentan un peligro al ambiente, son por sus características de alto riesgo generalmente controlados por agencias u organismos diferentes de la autoridad ambiental y no se incluyen en la deficion de residuos peligrosos.

A continuación se dan definiciones para las características de peligrosidad:

□ **CORROSIVIDAD**

Un residuo es corrosivo si presenta cualquiera de las siguientes propiedades

- a) Ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.52

- b) Ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor que 6.35 mm al año a una temperatura de 55 C, de acuerdo con el método NACE¹, o equivalente

- **REACTIVIDAD**

Un residuo es reactivo si muestra una de las siguientes propiedades:

- a. Ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar
- b. Reaccionar violentamente con agua
- c. Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al ambiente cuando es mezclado con agua
- d. Poseer, entre sus componentes, cianuros o sulfuros que, por reacción, libere gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo a la salud humana o al ambiente
- e. Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados

- **EXPLOSIVIDAD**

Un residuo es explosivo si presenta una de las siguientes propiedades

- a. Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua

¹ NACE (National Association Corrosion Engineers) Standard TM-01-693

- b. Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 C y 1 atm.

- **TOXICIDAD**

Un residuo es tóxico si tiene un potencial de causar la muerte, lesiones graves, efectos perjudiciales para la salud del ser humano si se ingiere, inhala o entra en contacto con la piel.

Se ha optado por una definición de toxicidad totalmente cualitativa para evitar análisis sofisticados de laboratorio para la clasificación de los residuos. Sin embargo, una definición más exacta requiere la utilización de límites cuantitativos de contenido de sustancias tóxicas el uso de definiciones que establecen la LC50 (concentración letal media que mata al 50% de los organismos de laboratorio).

- **INFLAMABILIDAD**

Un residuo es inflamable si presenta cualquiera de las siguientes propiedades.

- a. Ser líquido y tener un punto de inflamación inferior a 60 C, conforme el método del ASTM-D93-79 o el método ASTM-D-3278-78, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen.
- b. No ser líquido o ser capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25 C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o alteraciones químicas espontáneas y, cuando se inflama, quemar vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego.

- c. Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

□ **PATOGENICIDAD**

Un residuo es patógeno si contiene microorganismos o toxinas capaces de producir enfermedades.

5.3.2. DAÑOS PARA EL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA

Los procesos de recubrimientos electrolíticos generan toda una serie de residuos y emisiones siendo las más importantes las aguas residuales procedentes básicamente de los enjuagues tras las operaciones.

Las dos corrientes más típicas de residuos están constituidas por los baños agotados y los lodos galvanicos que se obtienen en los procesos de depuración de los diferentes flujos contaminados que se generan en los procesos galvanicos.

Aguas Residuales de lavado

Esta agua residual de lavado que sale de la planta de galvanotecnia, puede arrastrar en disolución los distintos sólidos contenidos en la película. Los constituyentes y parámetros del agua residual de significación contaminante en este sector son:

- Sólidos en suspensión
- Cianuro oxidable y total

- Fosfatos
- Cromo total
- Cu, Sn, Fe, Ni, Zn
- Fluoruros
- Al, Cd
- pH

Constituyen la fuente mas importante de emisiones

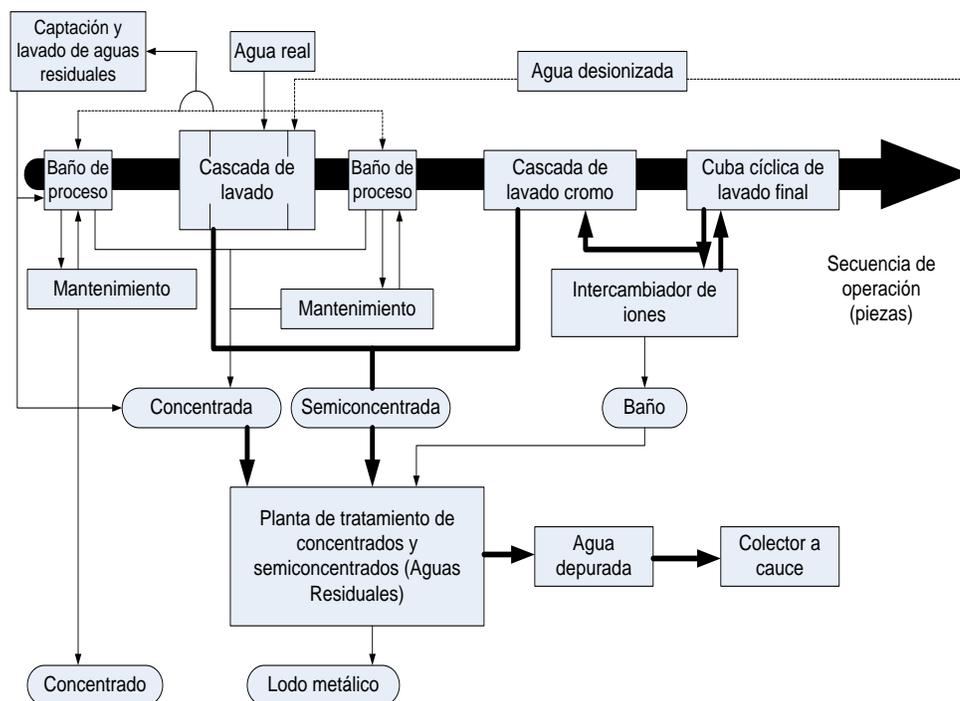


Figura 5.1. Generación de los principales flujos de aguas residuales y emisiones atmosféricas en una línea de recubrimientos electroquímicos²⁰

Las aguas residuales galvanicas se constituyen en uno de los desechos industriales inorgánicos de gran poder contaminante por sus características

²⁰ www.ImpactoAmbiental.com

toxicas y corrosivas. Las características toxicas se deben a las concentraciones normalmente elevadas de cianuro y metales pesados. Además, la elevada acidez y alcalinidad confieren al desecho un fuerte poder corrosivo. Ahora bien, se pueden agrupar estos desechos en dos categorías principales:

- ✓ Desechos Concentrados: que son periódicamente descartados de pequeños volúmenes y están constituidos por las soluciones desengrasantes, decapantes y los baños de electrodeposición agotados.

- ✓ Desechos Diluidos: que son continuamente descartados de grandes volúmenes y están principalmente conformados por las aguas de enjuague del proceso.

Las aguas residuales de los baños galvanicos desengrasantes, no solo contienen reactivos químicos del propio baño, sino también jabones, producto de la saponificación de las grasas desechadas de la superficie de las piezas que proviene de la operación de pulido. El pH es frecuentemente mayor que 10. Por el contrario el pH es frecuentemente menor que 2 en los desechos de la operación ácida, los cuales contienen ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico o sus sales, así como también una apreciable concentración de metales como resultado de la disolución metálica de las piezas de trabajo.

Finalmente las aguas residuales de los procesos de electrodeposición contienen sales metálicas, ácidas, alcalinas y varios otros compuestos empleados en el control del baño.

Los revestimientos metálicos incluyen principalmente el cromo, cobre, níquel, zinc, cadmio, estaño, además de sodio, calcio, hierro, e hidrógeno; y aniones como: cianuros, nitratos, sulfatos, sulfitos, sulfonatos, carbonatos, fosfatos, fluoruros, cloruros, tartratos, y oxidrilos.

PARAMETRO	Etapas del proceso	Valor promedio del parámetro (mg/l)	Volumen del agua residual (L/dia)	Carga contaminante (Kg/dia)
Cianuro	Desengrase Electrolytico	942.8	175	0.165
Cianuro	Cobreado Alcalino	390.6	175	0.068
Cromo Hexavalente	Cromado Brillante	4833.1	215	1.039
Niquel	Niquelado Brillante	616.9	180	0.111
Cobre	Cobreado Alcalino	293	175	0.051

Cuadro 5.1. Carga contaminante generada en las diferentes etapas del proceso de la planta de Cromado Brillante

Baños Agotados

En los procesos galvánicos se genera un concentrado de electrolito a eliminar, que debe ser considerado como un residuo.

Los procesos galvánicos generan también otros baños agotados distintos de los del proceso, consecuencia de las etapas en las que se incorporan materias extrañas (aceites y grasa en los desengrases, metales en los decapados y activados, etc)

Los tipos de baños agotados que se generan con mayor frecuencia son:

- Baños agotados ácidos (decapados, activados, etc)

- Baños agotados básicos (desengrases, etc)
- Baños agotados que contienen cromo hexavalente (pasivados)
- Baños agotados que contienen cianuros (algunos desengrases)

Lodos Metálicos

Los sólidos o lodos de este tipo de industrias, se generan cuando se someten las aguas residuales a un tratamiento de depuración. Las características del lodo van a depender del sistema de tratamiento del que procedan, del grado de desecación y de la forma en que se ha llevado a cabo el secado de dicho lodo

Los hidróxidos metálicos precipitados, después de ser sedimentados en el clarificador o en el tanque deposito, necesitan de un tratamiento posterior para que sea posible la retirada de los sólidos sin que tengan que ser manejadas grandes cantidades de agua.

Es deseable alcanzar el mayor grado de desecación posible simplemente desde el punto de vista económico puesto que el traslado de sedimentos líquidos es muy costoso, así como desde un punto de vista medioambiental ya que se ha demostrado a través de estudios que los sedimentos más secos tienen menos posibilidades de disolver los metales tóxicos cuando se les somete a ensayos de ecotoxicidad. Así se ha comprobado mejores sedimentos procedían de sistemas con una buena operación en los que el agua intersticial de los sedimentos contenía poco o ningún metal disuelto o cianuro.

Los lodos metálicos son, tras los baños agotados, la principal corriente residual generados en un taller galvánico en cuanto a cantidad y toxicidad.

Generación de intercambiadores de iones

Es habitual que en las instalaciones galvánicas exista como equipo auxiliar un intercambiador de iones para la obtención de agua destilada o para tener circuitos cerrados de lavado con agua desionizada. En ambos casos las resinas que captan los iones pueden saturarse.

La generación de estas se realiza con disoluciones ácidas y básicas para obtener una resina activada y útil. En esta operación se producen concentrados ácidos y básicos que contienen los iones retenidos, así como unas aguas de lavado ácidas y básicas. Estas últimas se pueden enviar a depuración y las concentradas es conveniente llevarlas a gestión externa.

Otros residuos

El calentamiento de los baños genera residuos. Entre ellos se puede citar: materiales filtrantes y lodos retenidos en los filtros, carbón activo y otros absorbentes con compuestos orgánicos e impregnados en electrolito, residuos aceitosos de equipos para eliminación de aceites de los desengrasantes.

Emisiones a la atmósfera

Las principales emisiones a la atmósfera proceden de la aspiración de los diferentes baños. Entre ellos destacan los aerosoles procedentes de baños de cromo duro que habitualmente se captan y concentran en un lavado. Los baños de cromo decarativo, los baños cianurados, los baños de níquelado y los decapados fuertes se aspiran igualmente aunque por lo general las emisiones se envían directamente al exterior sin tratamiento alguno.

DE LOS BAÑOS GALVANICOS

Tipo de residuo que se genera en este proceso

En cada una de las fases del galvanizado se generan una serie de residuos y subproductos, quedando los mas importantes recogidos en la siguiente tabla en la que ademas se indican sus componentes principales.

Fase del Proceso	Residuo / Subproducto	Sustancias contenidas
Desengrase	Baños de desengrase ácidos o alcalinos Aceites y grasas sepaadas	- Ácidos o alcalis - Agentes tensoactivos - Aceites/grasas, libres y emulsiadas - Aceites grasas libres - Componentes de la solucion de desengrase
Decapado	Baño de decapado agotado (ácido)	- Cloruros de hierro y cinc - Ácido clorhídrico libre - Inhibidores de decapado - Aceites y grasas arrastrados - Componentes de la aleación de las piezas a galvanizar
Mordentado	Baño de maordentado agotado, lodo de hidroxido de hierro de la regeneración del	- Cloruros de cinc amonio y hireeo - Hidroxido de hierro - Sales de mordentado

	baño de mordentado	
Galvanizado	Mata, cenizas de cinc y salpicaduras de cinc	- Cinc, hierro, oxido de cinc y aluminio
Sistema de captación de humos	Polvo de filtro procedente de los humos de sales de mordentado al entrar en la cuba de galvanizacion	- Cloruros de amonio, cinc y potasio - Aceites y grasas arrastrados

Cuadro 5.2. . Residuos / subproductos generados en las empresas de galvanizado por inmersión de piezas en caliente

El agua de lavado y de enfriamiento, procedente de cubas estancas, suele utilizarse para la preparación de nuevos baños de tratamiento. Las aguas de limpieza del area de los baños de decapado van a parar a las cubas de acido de los baños de decapado y se eliminan por separado o junto con los baños de decapado agotados.

Los principales residuos generados son:

Los principales componentes tóxicos de los residuos generados en las operaciones de tratamientos superficiales son:

Los metales pesados en forma iónica o compleja, como electrolitos een los baños.

Los cianuros, como acomplejantes de los iones metálicos.

El cromo (+VI) para los recubrimientos metálicos.

Acidos (HCl, H₂SO₄, HNO₃, sin contar adiciones como electrolitos).

Aditivos varios, entre los cuales destacan los noniletóxifenolados de los desengrases y los inhibidores del decapado, los boratos de los metalizados, los

nitratos de los baños de fosfatado y diversos acelerantes como sulfitos, nitrofenoles, etc. En los baños electrolíticos se pueden encontrar abrillantadores, tamponadores, estabilizadores, humedantes, complejantes, purificadores, como son los fosfatos, nitratos, diversos ácidos orgánicos y otras sustancias orgánicas (hicoquinonas) que también pueden causar efectos nocivos en el medio ambiente

- **Residuos con cromo**

Debido a la alta toxicidad del cromo VI y la especificidad del tratamiento de reducción a que debe someterse se distinguen a la vez baños concentrados de cromo (CrO_3 de 100 a 500 g/l) y baños de cromo del pasivado, más diluidos.

- **Residuos con cianuro**

Debido a la alta toxicidad del cianuro y a la especificidad del tratamiento de oxidación para destruirlo. Se utiliza en baños de cinc, cobre, plata y oro como acomplejante de los metales y puntualmente en desengrasas.

- **Otros residuos con metales**

Debido a la alta toxicidad de metales no ferrosos como Ni, Cr, Cu, Ag y Zn. Incluyen los baños agotados de metalizado, que tienen una bajísima frecuencia de cambio y los lodos de depuradora de aguas residuales galvánicas que contienen frecuentemente al menos tóxico cromo III, junto con níquel, cobre, cinc o estaño.

- **Residuos de mordentado**

Debido a su contenido de cinc (125 g/l), amonio, cloruros (300 g/l). El mordentado es una etapa de protección previa al cincado por inmersión y se presenta aparte de la corriente anterior por practicarse con frecuencia el cambio de baño.

- **Residuos de fosfatados**

Debido a su contenido de Zn, Ni, Mn y nitratos. Se han distinguido entre baños y lodos, puesto que estos últimos están más concentrados.

Este residuo no corresponde realmente a un residuo del proceso galvánico, sino a un tratamiento posterior con fines protectivos o de formación de una base previa al pintado.

- **Residuos de metales ferreos**

En forma de lodos de hidróxidos de hierro y otros metales provenientes de la neutralización de aguas de lavados de decapado.

5.3.3. EFECTOS AMBIENTALES DE LAS AGUAS RESIDUALES

El riesgo de contaminación de las aguas residuales galvánicas y el tratamiento necesario para su disposición segura depende de las sustancias químicas presentes (muchas de ellas son significativamente tóxicas al ser humano y a otros organismos), de su concentración y volumen, de las posibilidades de contacto humano, y de su comportamiento en el medio ambiente después de su disposición. Así se tiene:

Cianuros: El efecto letal aumenta con la disminución del pH, con el aumento de la temperatura (un aumento de 10 C puede duplicar o triplicar la acción letal), y con la disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Las concentraciones letales por inhalación son de 150 ppm por 30-60 min, y en concentraciones de 500 ppm por pocos minutos. La dosis letal de ingestión es de 2-5 mg/Kg de peso por peso.

Niquel: Afecta los procesos vitales. Las sales de niquel (principalmente el niquel carbolitico) son toxicas. En plantas terrestres, concentraciones mayores que 50 mg/Kg de peso seco son toxicas. Tiene poca capacidad de bioacumularse en peces.

Cromo: Afecta las funciones biológicas, principalmente el crecimiento. Es bioacumulable. Los máximos limites permitidos en los desagües varian de 5 a 2 ppm para el cromo trivalente y de 0.2 a 0.05 ppm para el cromo hexavalene. Cuando en el medio ambiente estan presentes niveles bajos de cromo, el Cr III aparentemente juega un rol esencial en el metabolismo de plantas y animales, mientras que el cromo VI es directamente toxico a bacterias como plantas y animales, ademas de ser muy movil y migrar a distancias considerables de su fuente.

Estrategias para el control de emisiones en los procesos de galvanotecnia

La reducción de la corriente de agua residual junto con la recuperación y reciclaje de los compuestos químicos del baño de aclarado, son las técnicas mas adecuadas, no solo por la intensificación del control de la contaminación ambiental, sino tambien por las significativas ventajas economicas que se podrían conseguir. Esta estrategia se puede avanzar mediante dos bloques de actuación:

I. Acciones en el proceso en el interior de la planta

- Minimización de productos químicos en el residuo (soluciones arrastradas (
- Minimización del volumen de aguas de lavado

II. Tratamiento de las aguas de vertido

- Reciclar y/o recuperar materias primas (agua principalmente y metales)
- Depuración de los efluentes (residuos)

5.3.4. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las tecnologías desarrolladas actualmente se basan de dos tipos de procesos: oxidación de cianuros y remoción de metales pesados

- A. Proceso de oxidación: La función primaria de la oxidación en el tratamiento de residuos peligrosos, es esencialmente convertir el cianuro a un compuesto menos tóxico como lo es el cianato, o destruirlo completamente y convertirlo a dióxido de carbono y nitrógeno. La función secundaria es la precipitación de materiales, los cuales al ser oxidados tienen una menor solubilidad.
- B. Proceso de remoción de compuestos orgánicos y metales pesados: Empleando arcillas. Sobre todo existen los estudios realizados por Slavee y Pickering (1981), quienes estudiaron los efectos de pH en la retención de Cu, Pb, Cd y Zn en mezclas ácidas arcillosas (caolinitas, illitas y montmorillonitas) encontraron que estas retenían a los metales en un rango de pH entre 3 a 6. Helios and Rybicka (1983) estudiaron la adsorción de beidellitas, illitas y caolinitas, ellos mostraron que usando arcillas de la serie de esmectitas se conseguía hasta un 80% de remoción de dichos metales. Barnes, Dorairaja y Zela (1990), utilizaron caolinitas y bentonitas para la remoción de cromo en los desechos del Estado de New Jersey, encontrando que las bentonitas absorben mejor el cromo que las caolinitas a pH bajos.

En el trabajo experimental que viene realizando el grupo investigador, se selecciono el proceso de oxidación de cianuros con hipoclorito de sodio, porque se adecua mejor a las plantas de destoxificación pequeñas que usan el proceso de flujo discontinuo, por su fácil manipuleo y control de sople. La destrucción de cianuros es total e inmediata. La operación se realiza a condiciones ambientales y la producción de lodos es baja.

En las aguas residuales se detecto la presencia de cromo hexavalente, cromo trivalente y níquel, como principales cationes. Existen los siguientes métodos para separarlos:

- Separación del cromo en forma de cromito tratando la disolución con soluciones de hidróxido sódico de elevada concentración
- Separación del níquel en forma de complejo amoniacal tratando la solución con disoluciones concentradas de hidróxido amoniacal.
- Separación del níquel mediante extracción con reactivos orgánicos.
- Separación del cromo como cromo hexavalente oxidando el cromo trivalente con agua oxigenada en medio alcalino.

Este último método fue el elegido para la separación del níquel y el cromo por las siguientes razones:

1. Los rendimientos aumentan con la concentración de los metales, al contrario de lo que ocurría con los otros métodos descritos.
2. No se necesita ningún reactivo de alto precio, lo cual es interesante dada la posible aplicación práctica de este método.

Para la absorción del cromo hexavalente en los efluentes se utilizo bentonitas nacionales activadas y pilaradas. En todo este procedimiento se procuro siempre que las soluciones a tratar tuvieran la concentración lo mas alta posible, asi como que tuvieran exentas de cianuro.

\Para determinar la capacidad de cromo hexavalente en las arcillas tratadas, se utilizo la técnica BATCH para evaluar las condiciones de equilibrio. Las concentraciones de cromo hexavalente fueron medidos empleando un Spectrinic 20D Digital Spectrophotometer, Utilizando la técnica basada en el metodo de la difenilcarbazida, la cual forma un complejo de coloración rojo violáceo.

5.3.5. SISTEMAS DE RECICLADO DE LAS AGUAS RESIDUALES

OSMOSIS INVERSA: Un ejemplo de recuperación de sales de niquel o de cromo y purificación del agua residual de la galvanizacion

En terminos simples, osmosis inversa es la filtración bajo precion a traves de una membrana cuyos poros son pequeños.

Los poros de la membrana estan concebidos de manera que la mayoria de las sales, de los inorgánicos y de los iones son eliminados 90-99%.

Las moléculas de agua atraviesan fácilmente la membrana. Las moléculas organicas pueden ser eliminadas o pasar según el tipo de membrana utilizado.

Finalmente, las particulas en suspensión, bacterias y pirogenos son prácticamente eliminados por completo mediante la osmosis inversa. Las aplicaciones de la osmosis inversa ademas de la purificación del agua residual en la galvanización son las siguientes.

- Desalinizacion de aguas de pozo y de mar a bajo costo

- Fabricación de agua ultra pura para laboratorios e industrias farmacéuticas y electrónica como por ejemplo para la diálisis.
- Purificación y desmineralización del agua a la entrada de las calderas industriales.
- Concentración de jugo o leche
- Recuperación de tinturas en la industria textil.

5.3.6. RECOMENDACIONES PARA LAS INDUSTRIAS

El control de la contaminación de la industria de galvanización puede ser llevado a cabo mediante la implementación de medidas tales como:

- Buenas Prácticas

- Políticas de personal: capacitación, uso de incentivos
- Desarrollo de manuales y procedimientos: sistema de documentación adecuados, optimización de manejo y almacenamiento de materias primas y control de inventario, programación de producción, mantenimiento preventivo de equipos.
- Medidas de prevención de pérdidas: control de calidad y certificación de materias primas, manejo de derrames y goteras
- Reparación de pisos

- Mejoramiento de procesos

- Modificación de lay-out

- Prolongamiento de la vida del baño
- Filtración continua
- Uso de sacos anódicos para filtrar los anodos
- Monitoreo de baños
- Instalar porta-gancheras/piezas sobre los baños
- Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y de sustancias químicas
- Implementación de estanques de lavado en contracorriente o cascada.
- Implementar sistemas sencillos de apertura y cierre de válvulas
- Implementar lavado intermitente del material
- Aumentar escurrimiento de piezas
- Instalar puentes de polipropileno
- Dosificar los baños con el contenido necesario de sustancias químicas
- Implementación de sistemas de gestión ambiental
- Mejorar la calidad de procesos y productos aumentando la eficiencia

- Disminuir los costos, producto de un uso mas eficiente de la energía y los recursos.
- Aumento de la competitividad
- Acceso a nuevos mercados
- Reducción de riesgos
- Mejoramiento de las condiciones laborales y de salud ocupacional.
- Mejora de las relaciones con la comunidad, autoridades y otras empresas.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- CONCLUSIONES

1.- Se cumplio con el objetivo de hacer el proceso de galvanización en polimeros utilizando las equipos de metalurgia de la FIME

2.- Los recubrimientos existentes en la industria son de una extensa variedad aquí se ha estudiado los polimeros y se ha recubierto con cobre, niquel y cromo.

3.- El proceso de recubrimiento se ejecutara adecuadamente solamente cuando el proceso de limpieza ha sido adecuadamente ejecutado, factor que adicionalmente determinara la vida util del material.

4.- El manual de funcionamiento del equipo indica el proceso de ensamblado y puesta en funcionamiento del equipo. También cuenta con los parámetros que debe cumplir cada uno de los baños.

5.- El programa del ANEXO solo realiza cálculos para formas simples como placas, tubos, perfiles rectos (sin formas redondas). Para formas complicadas se utiliza programas computacionales como el Auto Cad.

6.2.- RECOMENDACIONES

1.- Cuando no se utilice por mucho tiempo se deberá remover los ánodos de las cubas, ya que estos podrían contaminar los baños; se los deberá lavar y lijar cualquier óxido que se encuentre en su superficie, para luego dejar que se sequen y guardarlos en un lugar fresco y seco.

2.- Siempre usar mandil, guantes y gafas protectoras y además tener el ambiente aereado.

3.- Tener mucho cuidado en no introducir las manos dentro de los baños.

4.- Jamás dejar caer agua dentro del baño de decapado, ya que este podría producir una reacción química con desprendimiento de calor y puede ocasionar salpicaduras y hasta quemaduras al operario.

5.- Debe seguirse estrictamente el ensamblado del manual, caso contrario se obtendría resultados muy diferentes o también podría no funcionar el equipo.

PROCESO DE GALVANIZACIÓN

El termino galvanotecnia significa el recubrir un objeto, generalmente un metal, con una delgada capa de otro metal mediante el uso de la electricidad. Los metales más usados son oro, plata, cromo, cobre, níquel y zinc aunque existen otros recubrimientos no tan usados como los de cadmio, presentes en ciertos componentes electrónicos, y los de Wolframio para el recubrimiento de algunas partes metálicas que se encuentren expuestas a ácidos . Generalmente se recubre un metal con otro diferente pero no siempre es así, ya que existen recubrimientos sobre el mismo metal y también de materiales no metálicos sobre metales o viceversa.

Las razones por las que se aplican procesos galvanotecnico a un objeto son:

Para mejorar su apariencia: Los procesos galvanotecnico en general mejoran el brillo de la pieza tratada y disminuyen su rugosidad, ya que el metal recubridor se introduce en todas aquellas grietas y otras fallas que posea el objeto a recubrir.

Para evitar o disminuir las probabilidades de corrosión: Ya que los principales metales usados en los procesos galvanotecnico son resistentes a la corrosión, esta no puede llegar a las piezas recubiertas, por tanto si bien no se elimina completamente las posibilidades de corrosión, si se disminuye considerablemente.

Para aumentar la dureza y resistencia: Procesos como el cromado y los recubrimientos con wolframio proveen al objeto revestido las características mejores respecto a las que este poseía originalmente. Es por esto que ciertas partes de un torno como son los puntos para centrar la pieza, son tratadas por medio del cromo duro, para mejorar su resistencia.

MATERIALES PARA EL RECUBRIMIENTO

ANODOS

Cobre

- Cobre electrolítico.- Viene en forma de laminas delgadas y es muy puro.
- Cobre fundido.- Este contiene como impurezas Cu_2O , lo cual origina los barros anodicos.
- Cobre laminado.- Estos tienen la ventaja de presentar unos cristales muy pequeños lo cual hace que se disuelvan mas uniformemente.

Niquel

Los anodos de niquel poseen actualmente una pureza superior al 99%, generalmente son laminados y fundidos, el inconveniente es que son un poco caros.

Estos poseen cierta proporcion de impurezas las cuales favorecen su ataque y disolución; los barros anodicos estan constituidos de finas particulas de niquel y oxidos de este, asi como tambien de carbon. Para evitar que estas impurezas alcancen el catodo, se usan bolsas de algodón que recubren el anodo, las mismas que deben ser limpiadas periódicamente para que su funcion de filtro no sea interrumpida.

Cromo

Los anodos usados en el cromado son insolubles al paso de la corriente, pero no es recomendable su uso ya que este se desprende y se deposita en el fondo del baño en forma de sal cromica, lo cual no es recomendable para este tipo de baños. Por esto el cromo es suministrado desde el acido cromico, que es mas economico.

Plateado

Los anodos son de plata pura laminada, y bien recocida para asegurar una corrosion uniforme.

Dorado

Los anodos usados son de oro puro; si se han de preparar depositos de color se emplearan las aleaciones correspondientes. Si se usan anodos de oro tambien su contenido en el baño se va incrementando, pues el rendimiento anodico es mayor que el catodico. Para evitar este inconveniente se usan anodos insolubles que sustituyen en parte o totalmente a los anodos de oro.

Cadmiado

Estos suelen ser de cadmio puro, frecuentemente en forma de esferas puestas en el interior de una espira de acero insoluble en el baño, las esferas de cadmio son puestas por la parte superior a medida que se disuelven y de esta forma se mantiene constante la superficie catódica.

Cincado

Generalmente se usan anodos de cinc puro, o de cinc amalgamado.

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LOS POLIMEROS

La [materia](#) esta formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como [redes](#) tridimensionales.

Existen polímeros naturales como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la [madera](#) y en los tallos de muchas [plantas](#), y se emplean para hacer telas y [papel](#). La seda y la lana son otros ejemplos. El hule de los [árboles](#) de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

COPOLIMERO ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

Estos polímeros son plásticos duros con alta resistencia mecánica, de los pocos termoplásticos que combinan la resistencia con la dureza. Se pueden usar en [aleaciones](#) con otros plásticos. Así por ejemplo, el ABS con el PVC nos da un [plástico](#) de alta resistencia a la flama que le permite encontrar amplio uso en la construcción de televisores.

Sus cualidades son una baja [temperatura](#) de ablandamiento, baja resistencia ambiental y baja resistencia a los agentes químicos

METALIZADO QUÍMICO

Para poder galvanizar los plásticos es preciso crear un contacto eléctrico con el baño galvánico. Ello solamente es posible mediante una superficie metálica sobre el no conductor. La película metálica puede aplicarse sin corriente a partir de una solución de sales metálicas.

Por ello, el empleo industrial de plásticos galvanizados ha impulsado mucho el desarrollo de la metalización sin corriente. Entre los procedimientos químicos (sin corriente) se distinguen tres para la separación de metales:

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO DE GALVANOTECNIA

- 1.- Colocar cada tanque en su abrazadera

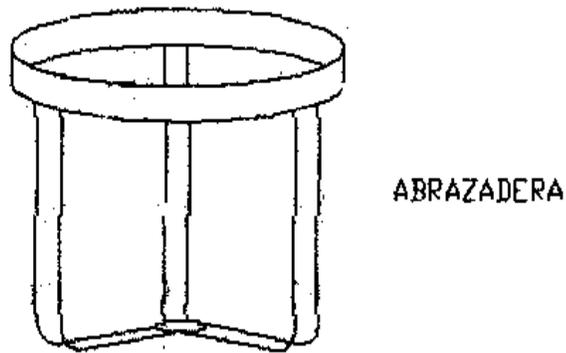


Figura 4.7. Abrazadera²¹

2.- Colocar los ánodos y el tubo de cobre donde se colgarán las piezas.

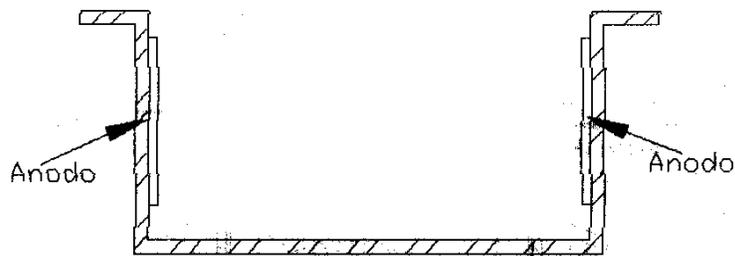


Figura 4.8 . – Ubicación de ánodos²²

3.- **Llenado de los tanques.**- el llenado de los tanques se lo deberá hacer lentamente, ya que cualquier salpicadura de estos baños puede resultar perjudicial, tanto para el operador como para los elementos circundantes al equipo (paredes, piso, etc.)

4.- **Conexiones eléctricas.**

Para los baños de cobre, níquel y cromo

²¹ www.galvanotecnia.com

²² www.galvanotecnia.com

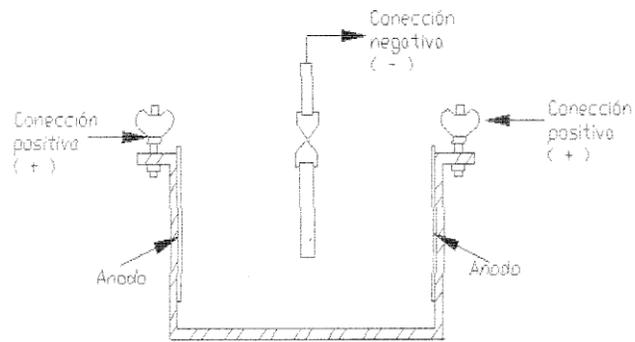


Figura 4.9 . Conexiones 1²³

Mientras que para el desengrane

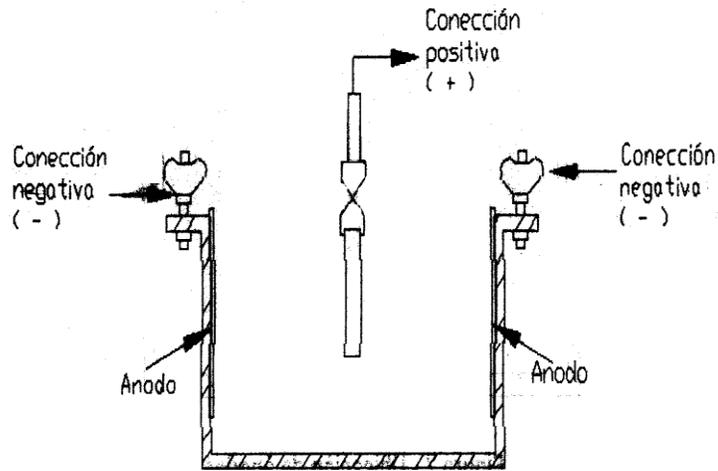


Figura 4.10. Conexiones 2²⁴

5.- Sujeción de la pieza

²³ www.galvanotecnia.com

²⁴ www.galvanotecnia.com

Se sujeta la pieza a un alambre de cobre que en su extremo tiene un gancho para colgarla en el tubo de cobre.

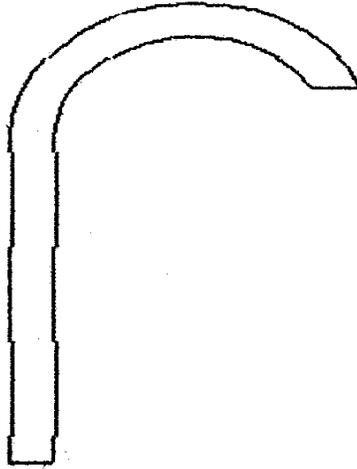


Figura 4.11.- Sujeción de pieza 1

6.- El amarre de la pieza debe ser lo suficientemente fuerte para que este no se suelte u caiga dentro del baño. Esta fuerza de sujeción no debe ser demasiado para que no se estorbe al depósito.

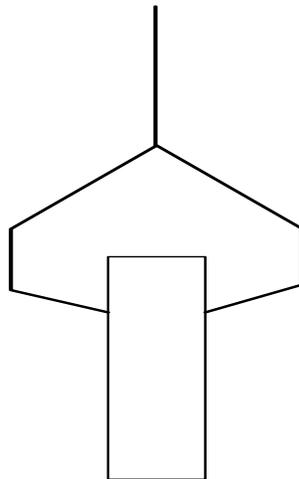


Figura 4.12 .- Sujeción de pieza 2

7.- La pieza debe estar colocada en el baño de la siguiente manera

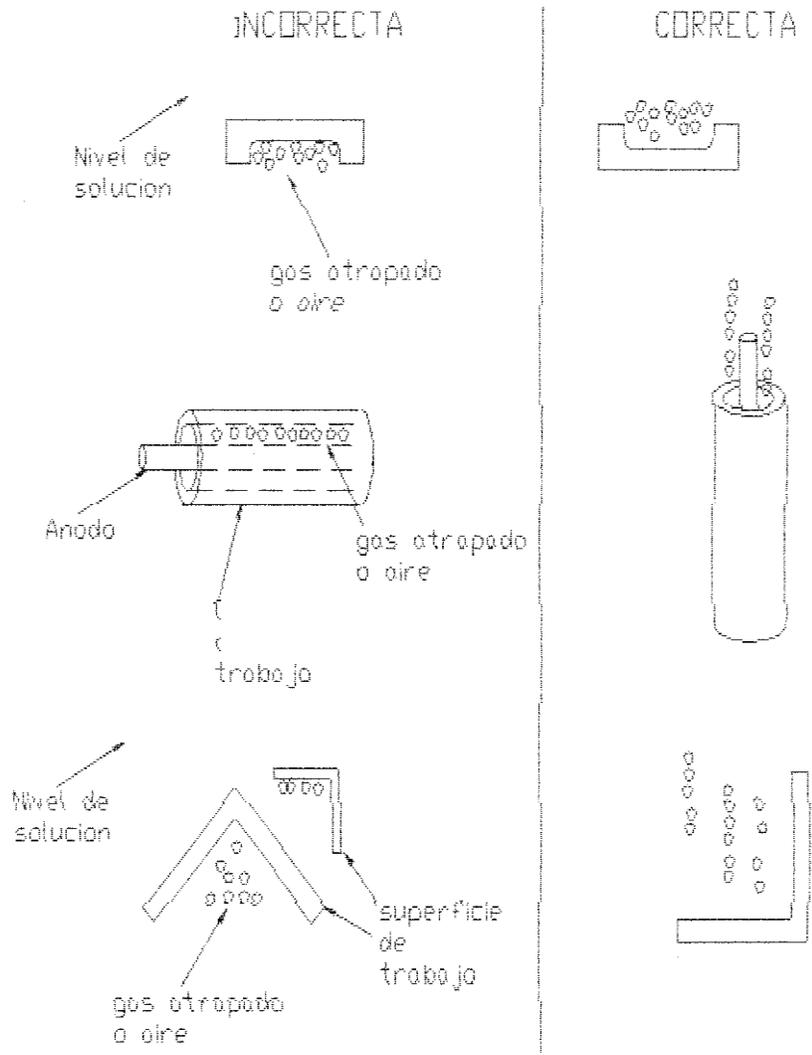


Figura 4.13 .- Formas de sumergir los objetos²⁵

PROCESO DE METALIZACION PARA ABS

1. MORDENTADO

Tiempo 15 minutos

Temperatura 60-65°C

2. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

²⁵ www.galvanotecnia.com

3. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

4. SOLUCION ACTIVADORA

Tiempo 10 minutos

Temperatura Ambiente

Requiere Agitación

5. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

6. BAÑO DE PLATA

Tiempo 2 minutos

Temperatura Ambiente

Requiere Agitación

7. ENJUAGUE AGUA DESTILADA

8. COBRE ELECTROLESS

Tiempo 15 minutos

Temperatura Ambiente

Requiere agitación esporádica

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES DE METALIZACION PARA ABS

MORDENTADO

Acido Sulfúrico 380 gr/lit

Acido Crómico 380 gr/lit

SOLUCION ACTIVADORA

Sales Activadoras 1.5 gr/lit

BAÑO DE PLATA

Nitrato de Plata	2 gr/lit
Sosa	7.5 gr/lit
Amoniaco	2.5 ml/lit

COBRE ELECTROLESS

Cu.El. Parte A	150 ml/lit
Cu.El. Parte B	200 ml/lit

PREPARACIÓN DE LOS BAÑOS

DESENGRASE

Temp. óptima: ambiente

Voltaje: 1 – 6 V

Amp. Máx fuente= 15Amp

- Se puede dejar sumergida la pieza el tiempo que se crea conveniente (entre 5 y 15 minutos). Puede haber casos en la que el tiempo sea mayor, esto se debe a piezas muy grandes.

DECAPADO

Temp. óptima : ambiente

Tiempo óptimo: hasta 10 min para piezas grandes

BAÑO DE COBRE

Temp. óptima : 22° C

Voltaje: 1 – 6 V

Amp/plg²: 0.05 – 0.1= (7.75 * 10⁻⁵ – 1.55) Amp/mm²

Amp. Max fuente: 15Amp

Area a recubrir con relación a la fuente: 193548 -96774 mm²

Tiempo Promedio: 15-20 minutos

- Se puede remover la pieza del baño frecuentemente sin resultados adversos para la misma.

BAÑO DE NIQUEL

Rango de temperatura del baño = (40-46)°C

Voltaje: 1.5 – 6 V

Amp/plg²: 0.05 = $7.75 \cdot 10^{-5}$ Amp/mm²

Amp. Max fuente = 15Amp

Área a recubrir con relación a la fuente : 193548 mm²

Tiempo Promedio: 15 – 20 minutos acabado decorativo

60 minutos acabado resistente a la corrosión

BAÑO DE CROMO

Temp. óptima: 46 °C

Voltaje: 3 – 12 V

Amp/plg²: 1 -1.5 = $2.35 - 10^3$ amp/mm

Amp. Max fuente = 15 Amp

Área a recubrir con relación a la fuente: 6452 mm²

Tiempo aproximado: 1 a 5 segundos

Baños de cromo.- estos baños usan ácido crómico, y se preparan disolviendo el anhídrido CrO₃ en agua; con lo que se forma el ácido dicrómico Cr₂O₇H₂.

Medidas Preventivas

(1) Usar zapatos o botas con suelas antideslizantes, y/o con punta de acero.

(2) Revisar el equipo electrico antes de usar. Llevar el equipo electrico defectuoso o sospechoso de serlo a donde un técnico electricista calificado para su prueba y reparación.

(3) Usar equipo de protección y vestimenta resistente a los químicos para evitar la exposición de la piel u ojos a solidos, liquidos, gaes o vapores corrosivos.

(4) Obedecer todas las instrucciones que tengan que ver con el almacenamiento, transporte, manipulación y vertido seguro de los diversos productos químicos, o el desecho de los baños que ya no sirven; NO mezcle productos químicos sin la supervicion de un químico calificado o un profesional en la seguridad industrial.

(5) Usar gafas de protección siempre que los ojos posiblemente vayan a estar expuestos al polvo, particulas suspendidas, o a salpicaduras de liquidos peligrosos.

(6) Usar respiradores cuando se vaya a estar expuesto a aerosoles, polvos, gases o vapores peligrosos.

(7) Tomas extremas precauciones cuando se vaya a manipular agentes altamente corrosivos como el acido hidroflicorico, el acido cromico (trioxido de cromo) acido nitrico concentrado, etc; de ser posible usar substitutos mas seguros.

(8) Si se ha diagnosticado una sensibilidad al latex, no usar este tipo de guantes.

